

SKRIPSI

ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN *SINUSOIDAL PWM INVERTER* DENGAN *MATLAB SIMULINK*



Disusun oleh :
GUNAWAN
NIM 0312023

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

SEPTEMBER 2007

ЗАДАНИЕ №2

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МИГРАНТЫ ИМЕЮЩИХ
ЛУЧШИЕ ЛЕКАРСТВА ПРИОБРЕ-
ТАЮЩИХСЯ ЛЕКАРСТВА СПОСОБОМ
КОМПЕТЕНТНЫХ ЛЕКАРСТВ ПРИОБРЕ-
ТАЮЩИХ ЛЕКАРСТВА БЕСПЛАТНО**

ВИДЫ ОБРАЗОВАНИЯ

СЕМИНАРЫ

ДИСКУССИИ

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЗАЩИЩАЮЩИХ

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НЕДОДОСТАЧИВАЮЩИХ ЗАЩИЩАЮЩИХ
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ БЕЗОБЛАГОУСЛОВИЙ КОМПЕТЕНТНЫХ ПРИОБРЕТЕНИЙ**

СЕМИНАРЫ

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER DENGAN MATLAB SIMULINK

SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan
Memenuhi Syarat-Syarat Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

GUNAWAN

03.12.023

Diperiksa dan disetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

(Ir. M. Abdul Hamid, MT)

NIP.Y. 1018800188

(Ir. Eko Nurcahyo)

NIP. Y. 1028700172



Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

(Ir. F. Yudi Impraptono, MT)

NIP : Y. 1039500274

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

ABSTRAKSI

ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER DENGAN MATLAB SIMULINK

*(Gunawan, 03.12.023, Teknik Energi Listrik S-1)
(Dosen Pembimbing : Ir. M. Abdul Hamid, MT dan Ir. Eko Nurcahyo)*

*Kata kunci; Motor induksi satu fasa tipe starting kapasitor, Sinusoidal
PWM inverter, Matlab simulink.*

Pengontrolan kecepatan motor induksi satu fasa jenis *starting capacitor* sangat diperlukan apabila motor tersebut akan digunakan pada kecepatan yang diinginkan, pengontrolan bisa dilakukan dengan menggunakan *sinusoidal PWM inverter*. Simulasi komputer sering dipilih untuk mempelajari kinerja peralihan dan kendali serta untuk mencoba rancangan – rancangan konseptual. Simulasi sangat membantu dalam menambah pemahaman terhadap perilaku dinamik dan interaksinya yang sering kali tidak tampak dalam teori yang dibaca, untuk dilanjutkan pada system yang nyata dalam bentuk percobaan. Dengan menggunakan *software matlab simulink* versi 7. 0 kita dapat menganalisa pengontrolan kecepatan motor dengan membentuk blok – blok rangkaian secara langsung dan menginputkan parameter yang sesuai.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul :

“ ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER DENGAN MATLAB SIMULINK ”.

Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi kurikulum akademik yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa guna menyelesaikan pendidikan pada jenjang strata satu jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik di Institut Teknologi Nasional Malang.

Atas segala bimbingan, pengarahan dan bantuan yang diberikan, sehingga tersusunnya skripsi ini, maka penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Prof. Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE**, selaku Rektor ITN Malang.
2. **Ir. Mochtar Asroni, MSME**, selaku Dekan FTI ITN Malang.
3. **Ir. F Yudi Limpraptono, MT**, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1 ITN Malang.
4. **Ir. M Abdul Hamid, MT**, selaku Dosen Pembimbing I.
5. **Ir. Eko Nurcahyo**, selaku Dosen Pembimbing II
6. **Ir. H. Choirul Saleh, MT**, selaku Dosen Penguji I
7. **Irrine Budi S., ST.MT**, Selaku Dosen Penguji II
8. Kedua orang tua yang telah membesarkan, mendidik dan selalu memberikan doanya.

9. Semua pihak yang telah membantu selama penyusunan skripsi ini.

Akhir kata penulis mengharapkan agar skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa khususnya pada jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik dan mahasiswa ITN pada umumnya.

Malang, September 2007

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAKSI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GRAFIK	xvi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Pembahasan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi Penelitian	3

BAB II TEORI DASAR MOTOR INDUKSI

2.1 Pengertian Umum.....	4
2.2 Medan Pulsasi Ganda Pada Motor Induksi Satu Fasa.....	5
2.3 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi Satu Fasa	8
2.4 Starting Motor Induksi Satu Fasa.....	9

2.4.1 Motor Starting Kapasitor.....	10
2.4.2 Motor Kapasitor Terpisah Tetap	11
2.4.3 Motor Starting – Running Kapasitor.....	12
2.5 Saklar Kapasitor	12
2.6 Parameter Motor Induksi Satu Fasa	13
2.7 Pengujian Untuk Penentuan Parameter Motor Induksi Satu Fasa.....	14
2.7.1 Pengujian Langsung	15
2.7.2 Pengujian Rotor Tertahan.....	15
. 2.7.3 Pengujian Tanpa Beban.....	17
. 2.7.4 Pengujian Nilai Perbandingan	18
2.8 Pengaturan Kecepatan	23

BAB III SINUSOIDAL PWM INVERTER

3.1 Penyearah Dan Filter	27
3.2 Inverter Satu Fasa.....	27
3.2.1 Inverter Satu Fasa Setengah Gelombang	27
3.2.2 Inverter Satu Fasa Dengan Beban Tap Tengah	28
3.2.3 Inverter Satu Fasa Gelombang Penuh	29
3.3 Metode Penyalaan Inverter PWM	31
3.3.1 Single PWM	31
3.3.2 Multiple PWM.....	32

3.3.3 Sinusoidal PWM	35
3.3.4 Modified Sinusoidal PWM.....	37
3.4 Flow Chart Pemecahan Masalah Secara Umum	38

BAB IV SIMULASI, EKSPERIMENT DAN HASILNYA

4.1 Menentukan Parameter Motor	39
4.1.1 Alat – Alat Yang Dipergunakan Dalam Pengujian	39
4.1.2 Pengujian Parameter Lilitan Dan Kapasitor Motor Secara Langsung	40
4.1.3 Pengujian Rotor Tertahan.....	40
4.1.4 Pengujian Tanpa Beban.....	41
4.1.5 Pengujian Nilai Perbandingan Kumparan	41
4.2 Analisa Data Pengujian Motor Induksi Satu Fasa	41
4.3 Simulasi Pada Matlab Simulink	47
4.3.1 Rangkaian Pengontrol Pada Matlab Simulink.....	47
4.3.1.1 Blok Rangkaian Motor Induksi satu Fasa Starting Kapasitor.....	47
4.3.1.2 Blok Rangkaian Inverter	48
4.3.1.3 Blok Rangkaian PWM Generator	49
4.3.2 Pemodelan Sistem	50
4.3.3 Hasil Simulasi	51
4.3.3.1 Hasil Simulasi Tanpa Beban	51
4.3.3.2 Hasil Simulasi Berbeban	67

4.3.4 Analisa Hasil simulasi	84
4.3.4.1 Analisa Hasil Simulasi Tanpa Beban	84
4.3.4.2 Analisa Hasil Simulasi Berbeban	86
4.4 Eksperimen	88
4.4.1 Hasil Eksperimen	90
4.4.2 Analisa Hasil Eksperimen	90
4.5 Perbandingan Hasil Simulasi Dan Eksperimen Pada Kondisi Tanpa Beban	91
4.5.1 Analisa Hasil Perbandingan Simulasi Dan Eksperimen Pada Kondisi tanpa Beban	91
4.5.2 Grafik Hasil Simulasi	93
4.5.2.1 Grafik Hasil Simulasi Tanpa Beban	93
4.5.2.2 Grafik Hasil Simulasi Berbeban	94

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	96
5.2 Saran	97

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Konstruksi Motor Induksi Satu Fasa.....	5
Gambar 2-2	Pulsasi Terhadap Waktu.....	6
Gambar 2-3	Torsi Pada Motor AC Satu Fasa.....	7
Gambar 2-4	Rangkaian Ekivalen Motor Induksi Satu Fasa	8
Gambar 2-5	Motor Starting Kapasitor.....	10
Gambar 2-6	Motor Running Kapasitor.....	11
Gambar 2-7	Motor Starting – Running Kapasitor.....	12
Gambar 2-8	Saklar Kapasitor	13
Gambar 2-9	Rangkaian Pengujian Langsung	15
Gambar 2-10	Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan Pada Kumparan Utama .	16
Gambar 2-11	Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan Pada Kumparan Bantu ..	16
Gambar 2-12	Rangkaian Pengujian Motor Tanpa Beban.....	17
Gambar 2-13	Rangkaian Pengujian Nilai Perbandingan.....	18
Gambar 2-14	Pengaturan Kecepatan Dengan Merubah Jumlah Kutup.....	23
Gambar 2-15	Karakteristik Beban Pada pengaturan Kecepatan Dengan Mengatur Tegangan Jala - Jala.....	24
Gambar 2-16	Karakteristik Torsi Kecepatan Pada Pengaturan Tahanan Luar	25
Gambar 3-1	Rangkaian Utama Pengendali Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa.....	26

Gambar 3-2	Inverter Satu Fasa Setengah gelombang	28
Gambar 3-3	Inverter Satu Fasa Dengan Beban Tap Tengah	29
Gambar 3-4	Inverter Satu Fasa Gelombang Penuh	30
Gambar 3-5	Single PWM	32
Gambar 3-6	Multiple PWM.....	33
Gambar 3-7	Pulsa Keluaran PWM Generator	35
Gambar 3-8	A,B Tegangan Output Transistor Dan C Tegangan Output Inverter	36
Gambar 3-9	Modified Sinusoidal PWM.....	37
Gambar 4-1	Blok Rangkaian Motor Induksi satu Fasa Starting Kapasitor ...	47
Gambar 4-2	Blok Rangkaian Inverter	48
Gambar 4-3	Blok Rangkaian PWM Generator	49
Gambar 4-4	Model Simulink Sistem Pengontrolan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa	50
Gambar 4-5	Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 25$ Hz....	51
Gambar 4-6	Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 30$ Hz....	51
Gambar 4-7	Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 35$ Hz....	52
Gambar 4-8	Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 40$ Hz....	52
Gambar 4-9	Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 45$ Hz....	53
Gambar 4-10	Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 50$ Hz....	53
Gambar 4-11	Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 55$ Hz....	54
Gambar 4-12	Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 60$ Hz....	54
Gambar 4-13	Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada $f = 25$ Hz.....	55

Gambar 4-14	Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada f = 30 Hz.....	55
Gambar 4-15	Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada f = 35 Hz.....	56
Gambar 4-16	Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada f = 40 Hz.....	56
Gambar 4-17	Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada f = 45 Hz.....	57
Gambar 4-18	Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada f = 50 Hz.....	57
Gambar 4-19	Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada f = 55 Hz.....	58
Gambar 4-20	Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada f = 60 Hz.....	58
Gambar 4-21	Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada f =25 Hz	59
Gambar 4-22	Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada f =30 Hz	59
Gambar 4-23	Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada f =35 Hz	60
Gambar 4-24	Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada f =40 Hz	60
Gambar 4-25	Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada f =45 Hz	61
Gambar 4-26	Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada f =50 Hz	61
Gambar 4-27	Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada f =55 Hz	62
Gambar 4-28	Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada f =60 Hz	62
Gambar 4-29	Hasil simulasi torsi motor tanpa beban pada f = 25 Hz	63
Gambar 4-30	Hasil simulasi torsi motor tanpa beban pada f = 30 Hz	63
Gambar 4-31	Hasil simulasi torsi motor tanpa beban pada f = 35 Hz	64
Gambar 4-32	Hasil simulasi torsi motor tanpa beban pada f = 40 Hz	64
Gambar 4-33	Hasil simulasi torsi motor tanpa beban pada f = 45 Hz	65
Gambar 4-34	Hasil simulasi torsi motor tanpa beban pada f = 50 Hz	65
Gambar 4-35	Hasil simulasi torsi motor tanpa beban pada f = 55 Hz	66
Gambar 4-36	Hasil simulasi torsi motor tanpa beban pada f = 60 Hz	66

Gambar 4-37	Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 25$ Hz	67
Gambar 4-38	Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 30$ Hz	67
Gambar 4-39	Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 35$ Hz	68
Gambar 4-40	Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 40$ Hz	68
Gambar 4-41	Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 45$ Hz	69
Gambar 4-42	Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 50$ Hz	69
Gambar 4-43	Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 55$ Hz	70
Gambar 4-44	Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 60$ Hz	70
Gambar 4-45	Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 25$ Hz	71
Gambar 4-46	Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 30$ Hz	71
Gambar 4-47	Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 35$ Hz	72
Gambar 4-48	Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 40$ Hz	72
Gambar 4-49	Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 45$ Hz	73
Gambar 4-50	Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 50$ Hz	73
Gambar 4-51	Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 55$ Hz	74
Gambar 4-52	Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 60$ Hz	74
Gambar 4-53	Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 25$ Hz.....	75
Gambar 4-54	Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 30$ Hz.....	75
Gambar 4-55	Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 35$ Hz.....	76
Gambar 4-56	Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 40$ Hz.....	76
Gambar 4-57	Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 45$ Hz.....	77
Gambar 4-58	Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 50$ Hz.....	77
Gambar 4-59	Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 55$ Hz.....	78

Gambar 4-60	Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 60$ Hz.....	78
Gambar 4-61	Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 25$ Hz.....	79
Gambar 4-62	Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 30$ Hz.....	79
Gambar 4-63	Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 35$ Hz.....	80
Gambar 4-64	Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 40$ Hz.....	80
Gambar 4-65	Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 45$ Hz.....	81
Gambar 4-66	Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 50$ Hz.....	81
Gambar 4-67	Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 55$ Hz.....	82
Gambar 4-68	Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 60$ Hz.....	82
Gambar 4-69	Rangkaian Eksperimen.....	89

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1	Kemungkinan Kondisi Hubung Komponen Daya	30
Tabel 4-1	Data Hasil Pengujian Rotor Tertahan Motor Induksi satu Fasa..	40
Tabel 4-2	Data Hasil Pengujian Tanpa Beban Motor Induksi Satu Fasa ...	41
Tabel 4-3	Data Hasil Pengujian Perbandingan Kumparan Motor Induksi Satu Fasa	41
Tabel 4-4	Data Hasil Simulasi Tanpa Beban.....	83
Tabel 4-5	Data Hasil Simulasi Berbeban.....	83
Tabel 4-6	Data Hasil Eksperimen.....	90
Tabel 4-7	Data Hasil Perbandingan Simulasi Dan Eksperimen Kondisi Tanpa Beban.....	91

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4-1	Tegangan Terhadap Frekuensi	93
Grafik 4-2	Kecepatan Motor Terhadap Frekuensi	93
Grafik 4-3	Arus Stator Terhadap Frekuensi.....	94
Grafik 4-4	Tegangan Terhadap Frekuensi	94
Grafik 4-5	Kecepatan Motor Terhadap Frekuensi	95
Grafik 4-6	Arus Stator Terhadap Frekuensi.....	95

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan motor induksi yang mencakup dunia luas baik dalam bidang industri maupun dalam kehidupan sehari-hari membuat motor jenis ini mendapat perhatian dari para pengguna serta pabrik pembuatnya untuk semakin meningkatkan mutu dari suatu motor induksi yang dihasilkan sehingga tidak mengecewakan para konsumennya. Motor induksi yang kecil digunakan untuk peralatan rumah tangga misalnya untuk mesin cuci, dan lemari es, sedangkan motor induksi dengan kapasitas yang besar digunakan pada dunia industri sebagai pompa, kipas angin dan banyak lainnya.

Pengontrolan kecepatan motor sangat diperlukan apabila motor tersebut akan digunakan pada kecepatan yang diinginkan. Pengontrolan bisa dilakukan dengan menggunakan *sinusoidal PWM inverter*.

Simulasi komputer sering dipilih untuk mempelajari kinerja peralihan dan kendali atau untuk mencoba rancangan – rancangan konseptual. Simulasi dapat sangat membantu dalam menambah pemahaman terhadap tingkah laku dinamik dan interaksinya yang sering kali tidak nampak dalam teori yang dibaca untuk dilanjutkan pada sistem yang nyata dalam bentuk percobaan.

Dengan menggunakan bantuan *software MATLAB* versi 7.0 kita dapat menganalisa kecepatan motor dengan membentuk blok-blok *simulink*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang timbul adalah menganalisa pengontrolan kecepatan motor induksi menggunakan *sinusoidal PWM inverter* dengan *software MATLAB* versi 7.0 dengan membentuk blok blok *simulink* sehingga perubahan arus, torsi, kecepatan dapat diketahui, sehingga skripsi ini mengambil judul:

ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER DENGAN MATLAB SIMULINK

1.3. Tujuan Pembahasan

Tujuan pembahasan skripsi ini adalah menganalisis pengontrolan kecepatan motor induksi satu fasa menggunakan *sinusoidal PWM inverter* dengan *MATLAB simulink*.

1.4. Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam skripsi akan lebih terarah sesuai dengan tujuan dan judul yang ada maka permasalahan dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut :

- a. Analisis dilakukan pada Motor Induksi Satu Fasa Jenis Kapasitor *Starting FUJIKAWA / DB-123, 100 Watt, 220 Volt, 1,9 Ampere, Cos φ 0,83, 50 Hz, 2800 rpm.*

- b. Analisa menggunakan *simulink* yang dibentuk dari blok – blok *simulink*.
- c. Sistem kontrol yang digunakan adalah sistem kontrol *sinusoidal PWM inverter*.
- d. Membandingkan karakteristik arus, tegangan dan kecepatan motor pada frekuensi yang berubah-ubah antara eksperimen dan simulasi khususnya pada kondisi tanpa beban.

1.5. Metodologi Penelitian

Dalam melaksanakan penulisan skripsi ini metodelogi sebagai berikut:

- a. Studi literatur
 - Pengumpulan bahan yang berkaitan dengan motor induksi serta penurunan rumus – rumus yang digunakan dalam skripsi ini
- b. Pengumpulan Data
 - Melakukan percobaan dan pengambilan data dari motor induksi yang akan dianalisa
- c. Melakukan analisa dari data untuk parameter-parameter yang akan digunakan.
- d. Melakukan simulasi dari data yang ada ke dalam Blok *Simulink* Dengan Bantuan *MATLAB* versi 7.0
- e. Menganalisa hasil Simulasi dan eksperimen
- f. Menarik Kesimpulan

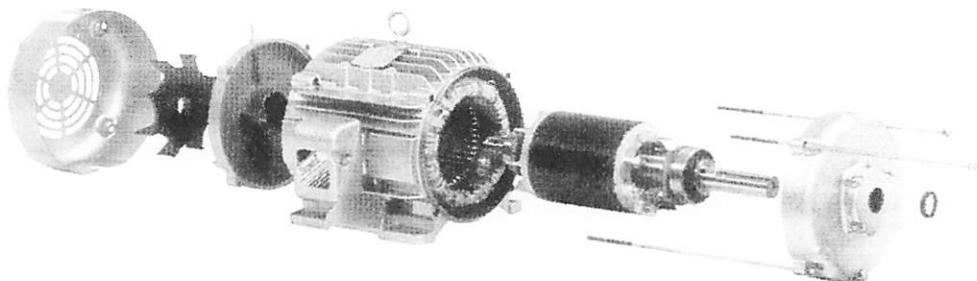
BAB II

TEORI DASAR

2.1 Pengertian Umum

Diantara semua jenis motor listrik, baik arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC), maka motor induksi adalah jenis motor yang paling banyak digunakan. Disebut motor induksi karena energi listrik tidak disalurkan secara langsung ke rotor motor induksi (kumparan rotor induksi tidak mempunyai hubungan dengan sumber listrik). Rotor motor induksi tidak menerima energi listrik secara langsung, tetapi menerima energi listrik berdasarkan induksi magnet (imbas) dari kumparan stator.

Motor induksi satu phasa banyak digunakan terutama untuk aplikasi yang memerlukan daya keluaran yang rendah. Hal lain yang mendukung digunakannya motor induksi satu phasa adalah karena bentuknya yang sederhana, ukuran yang kecil dan harga yang relative murah, ukuran stator motor induksi satu phasa umumnya berkisar antara 1/20-1Hp. Masalah utama yang berhubungan dengan desain motor induksi satu phasa adalah tidak adanya medan magnet putar seperti halnya pada motor induksi tiga phasa. Karena hanya ada satu phasa pada belitan stator, medan magnet pada motor induksi satu phasa tidak berputar, tetapi hanya menimbulkan medan pulsasi saja yang berada pada posisi yang tetap, bukan medan yang berputar terhadap ruang. Karena tidak ada medan magnet putar pada stator, motor induksi satu phasa tidak mempunyai torsi awal.

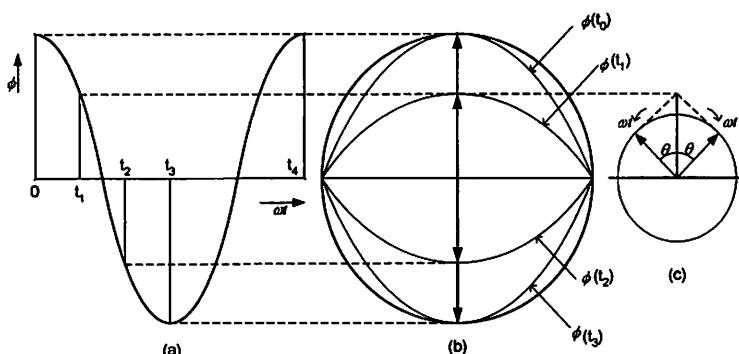


Gambar 2-1^[4]
Konstruksi Motor Induksi 1 Phasa

2.2 Medan Pulsasi Ganda Pada Motor Induksi Satu Phasa

Struktur motor induksi satu phasa sama dengan motor induksi tiga phasa jenis rotor sangkar, kecuali kumparan statornya yang hanya terdiri dari satu phasa. Seperti telah diketahui kumparan stator tiga phasa bila dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik akan menghasilkan suatu medan magnet yang berputar terhadap ruang. Medan putar inilah yang pada dasarnya menjadi prinsip motor induksi. Tidak demikian halnya dengan motor induksi satu phasa, karna belitan stator dari motor induksi satu phasa disupply oleh sumber tegangan bolak-balik yang sinusoida.

Tegangan bolak-balik yang sinusoida akan menghasilkan fluksi yang sinusoida pula ($e = \frac{d\phi}{dt}$). Fluksi yang sinusoidal ini hanya menghasilkan fluksi (medan) pulsasi saja dan bukan fluksi yang berputar terhadap ruang.



Gambar 2-2^[4] Pulsasi Terhadap Waktu

Dari gambar diatas dapat dilihat masing-masing keadaan fluksi terhadap ruang atau pulsasi (a), keadaan fluksi terhadap waktu (b) dan keadaan fluksi terhadap kedudukan vektornya di ruang.

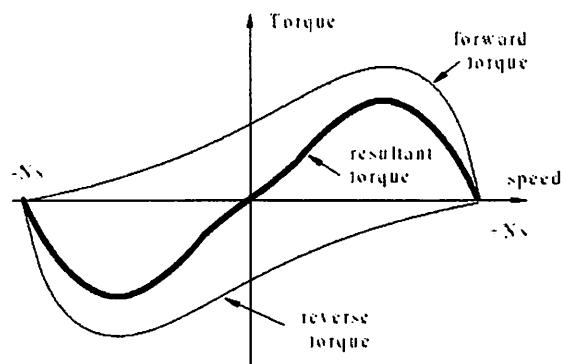
Keadaan fluksi sebagai fungsi waktu adalah:

Fluksi sebagai fungsi ruang adalah:

Maka fluksi sebagai fungsi waktu dan ruang adalah:

Dari rumus diatas dapat diketahui bahwa fluksi yang dihasilkan oleh kumparan satu phasa merupakan fluksi dengan dua komponen,yaitu komponen fluksi arah maju(ϕ_+).dan komponen fluksi arah mundur (ϕ_-)dimana:

Kedua komponen fluksi diatas bergerak berlawanan arah dengan kecepatan sudut (ωt) yang sama , sehingga kedudukannya terhadap ruang seolah-olah tetap. Kedua komponen fluksi yang berlawanan arah tersebut tentunya akan menghasilkan torsi yang sama besar dan berlawanan arah pula (arah maju dan arah mundur) seperti terlihat pada gambar 2-3 berikut.



Gambar 2-3^[4] Torsi Pada Motor AC 1 Phasa

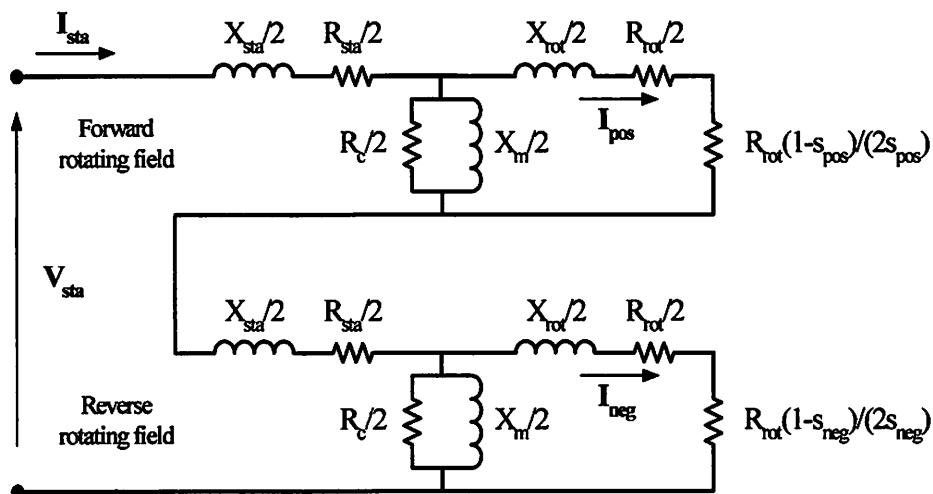
Torsi resultan yang dihasilkan oleh kedua komponen torsi tersebut pada dasarnya mempunyai kemampuan untuk menggerakkan motor dengan arah maju dan mundur. Tetapi pada keadaan start kemampuan motor untuk maju sama besar dengan kemampuan gerak mundurnya, oleh sebab itu motor tetap diam saja.

Apabila dengan suatu alat bantu dapat diberikan sedikit torsi maju, maka motor akan berputar mengikuti torsi resultant maju dan demikian pula

sebaliknya. Persoalan sekarang adalah bagaimana cara memberikan torsi mula pada motor induksi satu phasa.

2.3 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi Satu Phasa

Untuk membahas rangkaian ekivalen dari motor induksi satu phasa, dapat di perhatikan pada saat motor diam. Pada saat itu motor seolah-olah trafo satu phasa dengan sisi sekunder dihubung singkat. Rangkaian ekivalen dapat dilihat pada gambar 2.4.



**Gambar 2-4 [9]
Rangkaian Ekivalen Motor Induksi 1 Phasa**

Dimana:

V_{sta} : Tegangan Input pada Motor (Volt)

X_{sta} : Reaktansi Stator (Ohm)

R_{sta} : Resistansi Stator (Ohm)

R_c : Resistansi Inti (Ohm)

X_m : Reaktansi Bersama Stator dan Rotor

X_{rot} : Reaktansi Rotor (Ohm)

R_{rot} : Resistansi Rotor (Ohm)

S : Slip

I pos : Arus pada putaran medan Maju (forward)

I neg : Arus pada putaran medan Mundur (Reversing)

Selanjutnya dari prinsip medan putar ganda, dimana gelombang magnet merupakan dua komponen medan putar yaitu, medan putar maju dan medan putar mundur,yang besarnya sama dan berlawanan arah.Keduanya mempunyai setengah amplitudo dari medan magnet yang berpulsasi, yang masing-masing menyatakan pengaruh medan maju dan medan mundur.

2.4 Starting Motor Induksi Satu Phasa.

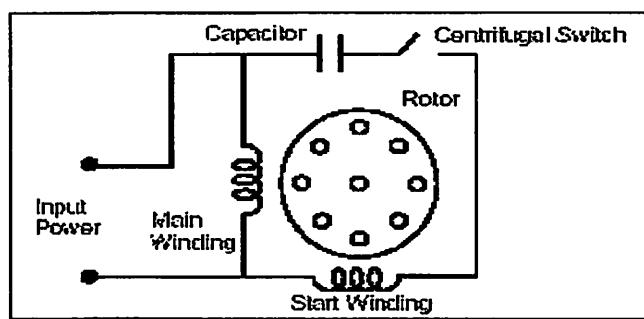
Seperti dijelaskan di atas, motor induksi satu phasa tidak mempunyai torsi awal.untuk itu ada beberapa macam atau jenis motor induksi satu phasa yang membedakan cara startingnya,yaitu:

- a. Motor Phasa-Terpisah (Split-Phasa Motor)
- b. Motor Jenis-Kapasitor (Capacitor-type motor)
- c. Motor Kutup Terarsir (shaded-Pole Motor).
- d. Motor Reluktansi hidup sendiri (self-starting reluctance motor)
- e. Motor Histerisis

Sesuai dengan batasan masalah dari sekripsi ini, maka hanya akan dibahas mengenai motor induksi satu phasa jenis-kapasitor (capacitor-type motor) yang meliputi:

2.4.1 Motor Starting Kapasitor (*Capacitor-Start*)

Motor starting kapasitor juga merupakan motor phasa terpisah, tetapi perbedaan phasa waktu antara kedua arus diperoleh melalui kapasitor yang dipasang secara seri dengan kumparan tambahan, seperti tampak pada gambar 2-5 berikut :

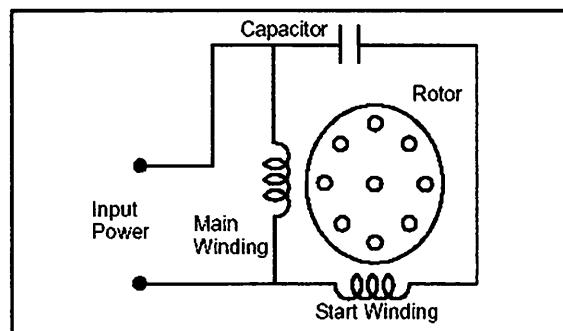


Gambar 2-5^[9]
Motor Starting Kapasitor

Kumparan tambahan diputuskan hubungannya setelah hidup, dan dengan demikian kumparan tambahan dan kapasitor dapat dirancang dengan minimum jika motor dihidupkan dan dimatikan bergantian dalam selang waktu tertentu. Dengan menggunakan kapasitor saat dihidupkan yang besarnya tepat, arus kumparan-tambahan dalam keadaan dapat dibuat mendahului arus kumparan-utama sebesar 90° seperti yang terjadi pada motor dua phasa setimbang.

2.4.2.Motor Kapasitor Terpisah Tetap (Capasitor-Run)

Pada motor kapasitor terpisah tetap (*Capasitor-Run*), kapasitor dan kumparan tambahan tidak diputuskan setelah motor hidup.



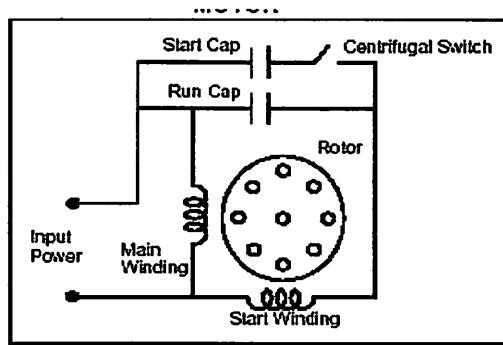
**Gambar 2-6^[9]
Motor Running Kapasitor**

Konstruksinya dapat di sederhanakan dengan meniadakan penyambungan arus (saklar sentrifugal) seperti terlihat pada gambar 2-6 .

Starting dengan menggunakan kapasitor terpisah tetap akan diperoleh perbaikan pada faktor daya, efisiensi, dan pembentukan pulsa torsi. Sebagai contoh kapasitor dan kumparan tambahan dapat dirancang untuk bekerja dengan sempurna pada 2-phasa pada sembarang beban yang diinginkan, dengan demikian medan mundur akan hilang,yang menyebabkan perbaikan efisiensinya. Disamping itu akan hilang juga pembentukan pulsa momen-kakas frekwensi stator ganda, kapasitor akan berlaku sebagai penampung penyimpanan tenaga untuk menghaluskan pembentukan pulsa pada masukan daya dari jala-jala satu phasa. Hasilnya merupakan suatu motor yang tidak berisik.

2.4.3. Motor Starting-Running Kapasitor

Motor kapasitor ganda menggunakan dua buah kapasitor, yang satu untuk menghidupkan dan yang satu dipergunakan pada saat jalan, secara teoritis kedua penampilan saat di hidupkan dan saat jalan yang optimal dapat diperoleh. Salah satu cara adalah dengan susunan rangkaian seperti pada gambar 2-7 berikut:



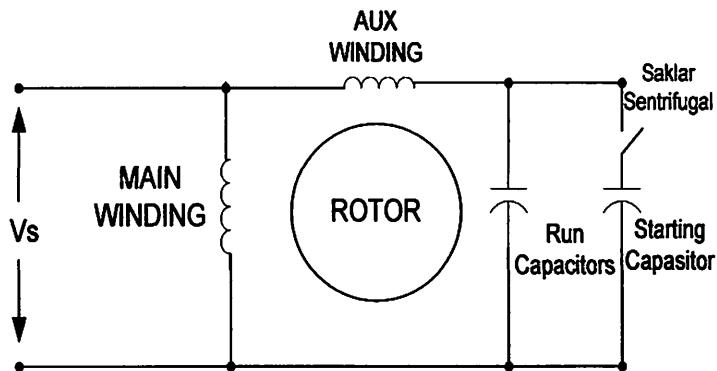
Gambar 2-7 [9]
Motor Starting-Running Kapasitor

Harga kapasitansi yang kecil (C_1) dipergunakan untuk mendapatkan keadaan kerja yang optimum secara tetap dihubungkan seri dengan kumparan tambahan, dan kapasitansi yang berharga lebih besar (C_2) Yang diperlukan pada saat start dipasang paralel dengan kapasitor pada saat bekerja. Kapasitor saat dihidupkan diputuskan hubungannya setelah motor berputar.

2.5 Saklar Kapasitor

Pada umumnya motor induksi satu phasa jenis kapasitor terdiri atas kumparan utama (*main winding*), kumparan Bantu (*auxiliary winding*),

running kapasitor, starting kapasitor dan saklar *sentrifugal*, seperti diperhatikan pada gambar 2-8.



Gambar 2-8^[1]
Saklar Kapasitor

Pada gambar diatas terlihat, sistem terdiri dari tiga elemen utama yaitu; Mesin induksi,starting kapasitor, dan (*AC switch*). Kumparan utama (*main winding*) dihubungkan langsung dengan sumber listrik utama (V_s) dan running kapasitor yang diparalel dengan *AC switch* diseri dengan kumparan tambahan (*auxiliary winding*).

2.6 Parameter-parameter pada motor induksi satu phasa

Penurunan model dari parameter-parameter biasanya ditentukan berdasarkan atas unjuk kerja (performance) yang terukur dari motor. Beberapa parameter biasa diukur secara langsung seperti resistansi belitan utama dan belitan tambahan, serta impedansi eksternal belitan tambahan. Parameter-parameter lainnya atau sisanya ditentukan dengan menyelesaikan persamaan non-linear yang diperoleh dari perhitungan hasil dari beberapa pengujian motor induksi satu phasa. Pendekatan yang digunakan disini

adalah dengan mendapat parameter yang didapat dari pengukuran secara langsung, kemudian mencari beberapa nilai parameter sisanya yang merupakan harga yang terbaik dan sesuai dengan unjuk kerja dari motor itu sendiri.

➤ Parameter-parameter yang dapat diukur secara langsung

- Resistansi kumparan utama (R_{1m})
- Resistansi kumparan Bantu (R_{1s})
- Induktansi kumparan Utama (L_{1m})
- Induktansi kumparan Bantu (L_{1s})

➤ Parameter unjuk kerja motor Induksi:

- Power factor ($\cos \phi$)
- Tegangan Supply (V_s).
- Arus belitan utama (I main)
- Arus belitan Bantu (Iaux)
- Kecepatan

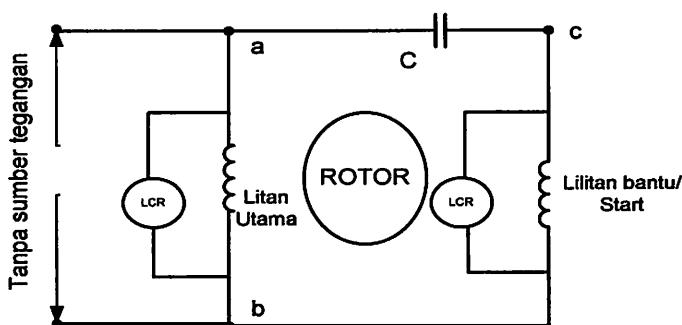
2.7 Pengujian untuk penentuan parameter motor induksi satu phasa.

Dengan mengaplikasikan beban pada motor induksi satu phasa, secara langsung dapat dibaca output, input, kecepatan dan arus. Dari bacaan ini efisiensi, rugi, torsi dan factor daya dapat diperoleh. Karena motor jenis kapasitor biasa memiliki rating yang kecil, maka bacaan langsung ini dari metode biasanya dapat diperoleh unjuk kerja dari motor. Bagaimanapun untuk tujuan pemeriksaan desain dan perhitungan dalam penyelidikan

performa sangatlah penting untuk membuat berbagai macam pengujian untuk mempertimbangkan konstanta mesin / parameter. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

2.7.1 Pengujian langsung

Pengujian langsung merupakan pengujian awal dari suatu motor induksi satu phasa jenis kapasitor dengan menggunakan *LCR Meters*, untuk mengukur nilai resistansi kumparan utama (R_{1m}) dan induktansi kumparan utama (L_{1m}) dengan cara memutus hubungan rangkaian pada titik a dan b, sedangkan untuk mengukur nilai resistansi kumparan bantu (R_{1s}) dan induktansi kumparan bantu (L_{1s}) dengan cara memutus hubungan rangkaian pada titik b dan c.

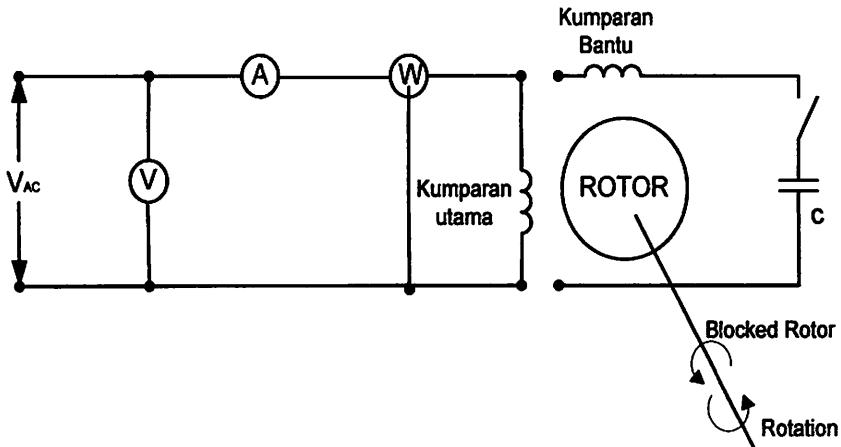


Gambar 2-9 Rangkaian Pengujian Langsung^[1]

2.7.2 Pengujian Rotor tertahan

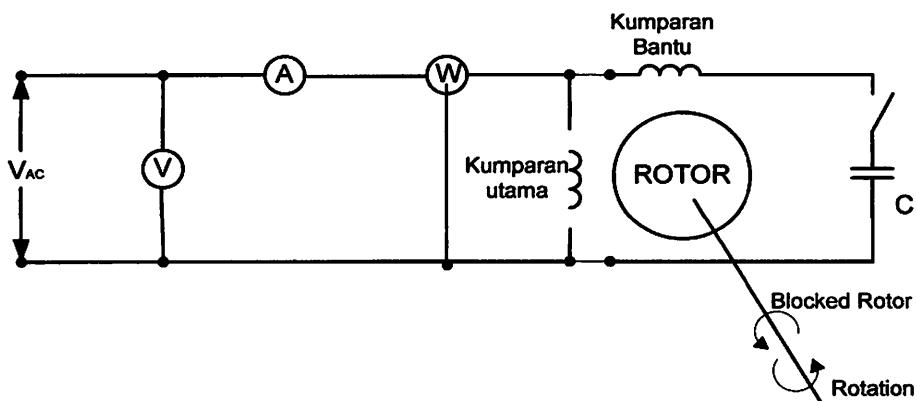
Pengujian rotor tertahan dipergunakan untuk memperoleh parameter tegangan input (volt) arus (amper) dan daya (watt) yang dilakukan dengan dua kali pengujian.

- a. Pengujian pertama, diukur pada kumparan utama, yang mana kumparan bantunya tidak dihubungkan dengan pengujian seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2-10^[1]
Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan Pada Kumparan Utama

- b. Pengujian kedua, diukur pada kumparan Bantu yang mana kumparan utamanya tidak dihubungkan dengan rangkaian pengujian sebagai berikut.



Gambar 2-11^[1]
Rangkaian Pengujian Rotor Tertahan Pada Kumparan Bantu

Pengujian ini tidak diijinkan untuk menggunakan tegangan penuh, karena pada kondisi rotor tertahan arus singkat yang berlebihan dan akan menimbulkan efek panas, untuk itu disarankan tegangan yang digunakan sekitar 40% dari tegangan normal.

2.7.3 Pengujian tanpa beban

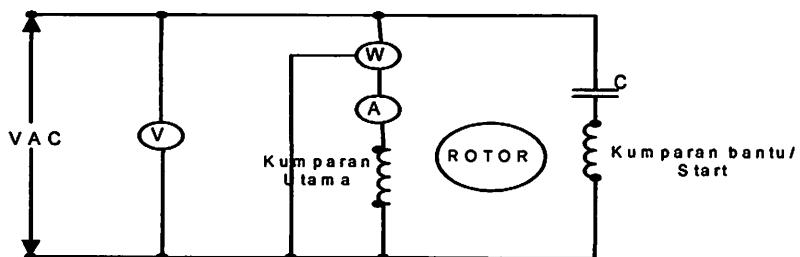
Pengujian ini dibuat untuk tingkat tegangan yang hanya dilakukan untuk membangkitkan kumparan utama daya input (watt), tegangan (volt) dan arus (ampere) diukur. Pengajian tanpa beban dilakukan dengan cara memberikan tegangan supply pada motor, dan rotornya dibiarkan berputar secara bebas. pengjian ini menggunakan alat bantu ampere meter, watt meter dan volt meter.

Pada kondisi tanpa beban ,dimana torsi beban harus nol berlaku persamaan

Dimana : S = Kecepatan Ideal

R₂ = Resistansi Rotor

X₀ = Reaktansi Magnetik Tanpa Beban



Gambar 2-12^[1]

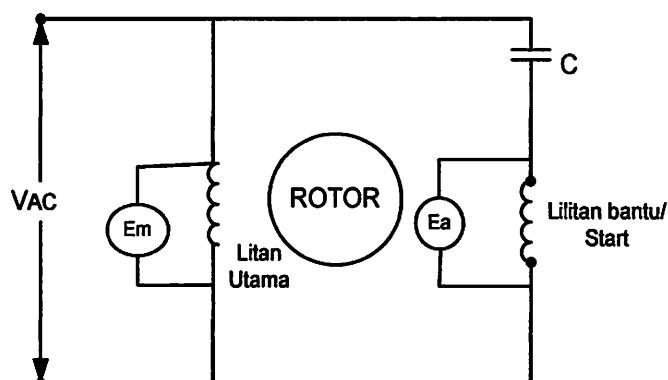
Rangkaian Pengujian Motor Tanpa Beban

Ini menunjukkan fakta bahwa percobaan diketahui dengan baik, kecepatan tanpa beban dari motor induksi satu phasa tidak mempunyai kecepatan sinkron sebagai mana kasus ideal untuk mesin phasa banyak sesungguhnya kecepatan tanpa beban dari motor satu phasa lebih kecil dari apa yang sering dinyatakan dalam contoh teori karena efek perlambatan selanjutnya dari rugi sumbu start,demikian halnya dengan rugi gesekan dan angin.

Kecepatan ideal tanpa beban adalah :

2.7. 4 Pengujian nilai perbandingan.

Pengujian perbandingan kumparan hanya dilakukan untuk motor kapasitor apabila diinginkan untuk memperoleh nilai rugi, dengan rangkaian pengujian sebagai berikut.



Gambar 2-13^[1]
Rangkaian Pengujian Nilai Perbandingan

Apabila perbandingan kumparan sudah diketahui dari desain motor maka pengujian tidak perlu dilakukan. Pengujian ini dapat dilakukan dengan cara menjalankan motor dengan harga tegangan E_m yang hanya dinyatakan untuk kumparan utama dan pengukuran tegangan kumparan E_a (motor dalam keadaan tanpa beban).

Mengesetkan E_a berubah ubah dipilih kurang lebih 18% lebih dari E_a (ide dibawah ini adalah untuk mengoperasikan motor pada fluksi normal), pada kumparan bantu motor dibiarkan berjalan tanpa beban kemudian tegangan induksi pada kumparan utama yang mana kita sebut E_m diukur.

Perbandingan kumparannya

Dari parameter pengujian diatas maka akan diperoleh parameter baru dari mesin motor untuk analisa berikutnya, dengan tahapan metode perhitugannya sebagai berikut:

➤ Langkah pertama

Untuk perkiraan awal, diasumsikan sebagai rangkaian ekivalen motor seri sederhana:

dimana: Z_e = Impedansi hubung singkat.

X_e = Reaktansi hubung singkat

R_e = Resistansi hubung singkat

R₁ = Resistansi stator

R_2 = Resistansi rotor

W_L = Daya input

I_L = Arus line

V_L = Tegangan line

Jika reaktansi magnetik diasumsikan sama untuk sumbu start dan sumbu utama maka:

Dimana: X_0 = Reaktansi magnetik tanpa beban

V_n = Tegangan tanpa beban

I_n = Arus tanpa beban

➤ *Langkah kedua*

Untuk lebih akuratnya perhitungan, kehadiran dari cabang magnetic yang diparalel dengan rangkaian rotor, harus disertakan dalam perhitungan dengan perkiraan berturut-turut yang akan diperlukan.

Dimana: K , =Koefisien kopling nyata

Untuk arus magnetik tanpa beban diketahui :

Untuk komponen sumbu start kemudian seperti dibawah ini:

Atau dengan pengurangan secara langsung

Jika arus magnetic pada sumbu utama sudah diketahui, selanjutnya perhitungan lebih akurat untuk X_0 akan menjadi:

Perkiraan yang kedua untuk K_r , adalah:

Resistansi rotor dalam stator secara lebih akurat adalah,

Reaktansi ekivalin mungkin dibagi dalam komponen utama dan yang lain,dengan menggunakan hubungan perkiraan:

Dimana: X_1 = Reaktansi stator

X_r = Reaktansi rotor

X_e = Reaktansi hubungan singkat

Tapi untuk membetulkan kehadiran reaktansi magnetic dalam pengujian adalah sebagai berikut, lebih tepat:

► *Langkah ketiga.*

Disarankan prosedur pengujian sebagai bagian dari masalah dari rugi-rugi terpisah .Skema dari prosedur berikut mempergunakan gambar pengujian

diatas.Harga yang diberikan dengan metode ini akan menggunakan tambahan simbol utama pada persamaan dibawah ini.

Pendekatan pertama:

pendekatan kedua:

$$X_e = \frac{V_n}{I_n} - \sqrt{\left(\frac{V_n}{I_n} - X_e'\right)^2 + (R_2')^2} \quad \dots \dots \dots \quad (2-28)$$

Sehingga dari analisa diatas akan diperoleh parameter baru berupa:

R_2 = Resistansi rotor

X_2 = Reaktansi rotor

X_s = Reaktansi magnetik tanpa beban

X = Reaksi hubungan singkat

K = Koefisien kopling nyata

2.8. Pengaturan Kecepatan

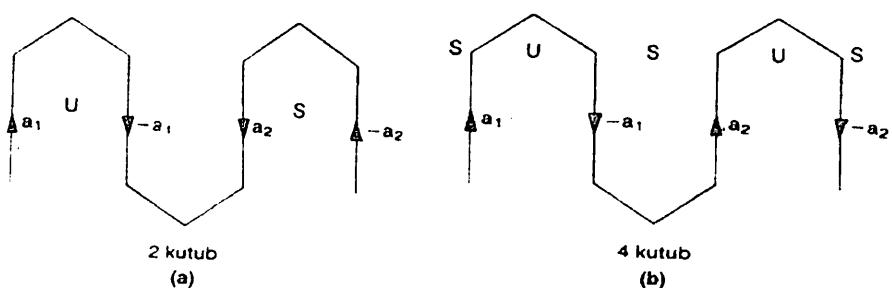
Motor induksi pada umumnya berputar dengan kecepatan konstan, mendekati kecepatan sinkronnya. Meskipun demikian pada penggunaan tertentu dikehendaki juga adanya pengaturan putaran. Pengaturan putaran motor induksi memerlukan biaya yang agak tinggi.

Biasanya pengaturan ini dapat dilakukan dengan beberapa cara:

1. Mengubah jumlah kutub motor

Karena $n_s = \frac{120f}{p}$, perubahan jumlah kutub (p) atau frekuensi

akan mempengaruhi putaran. Jumlah kutub dapat diubah dengan merencanakan kumparan stator sedemikain rupa sehingga dapat menerima tegangan masuk pada posisi kumparan yang berbeda-beda. Biasanya diperoleh dua perubahan kecepatan sinkron dengan mengubah jumlah kutub dari 2 menjadi 4, seperti pada gambar 2-14 berikut



Gambar 2-14^[10]

Pengaturan Kecepatan Dengan Merubah Jumlah Kutub

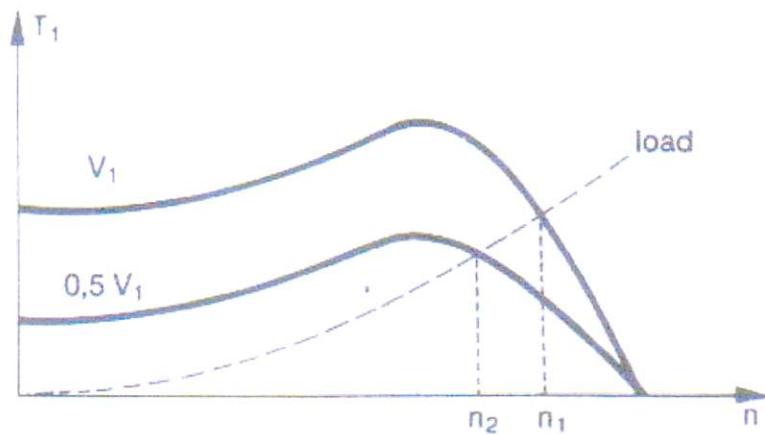
2. Mengubah Frekuensi Jala-jala

Pangaturan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan mengubah-ubah harga frekuensi jala-jala. Hanya saja untuk menjaga kesetimbangan kerapatan fluks, pengubahan tegangan harus dilakukan bersamaan dengan pengubahan frekuensi. Persoalannya sekarang adalah bagaimana mengatur frekuensi secara efektif dan ekonomis

3. Mengatur Tegangan Jala-jala

$$T = \frac{3}{\omega} (V_1)^2 \frac{Sa^2 R_2}{(a^2 R)^2 + S^2 (a^2 X_2)^2}$$

Dari persamaan kopel motor induksi diketahui bahwa kopel sebanding dengan pangkat dua tegangan yang diberikan. Untuk karakteristik beban seperti terlihat pada gambar 2-15 berikut



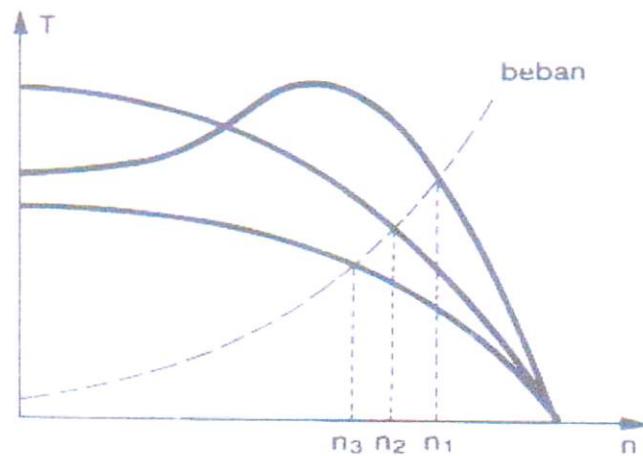
Gambar 2-15^[10]

Karakteristik Beban Pada Pengaturan Kecepatan Dengan Mengatur Tegangan Jala – Jala

Kecepatan akan berubah dari n_1 ke n_2 untuk tegangan masuk setengah tegangan semula .Cara ini hanya menghasilkan pengaturan kecepatan yang terbatas (daerah pengaturan yang sempit).

4. Pengaturan Tahanan Luar

Tahanan luar motor induksi rotor belitan dapat diatur, dengan demikian dihasilkan karakteristik kopel kecepatan yang berbeda-beda seperti terlihat pada gambar 2-16. Putaran akan berubah dari n_1 ke n_2 ke n_3 dengan bertambahnya tahanan luar yang dihubungkan ke rotor.

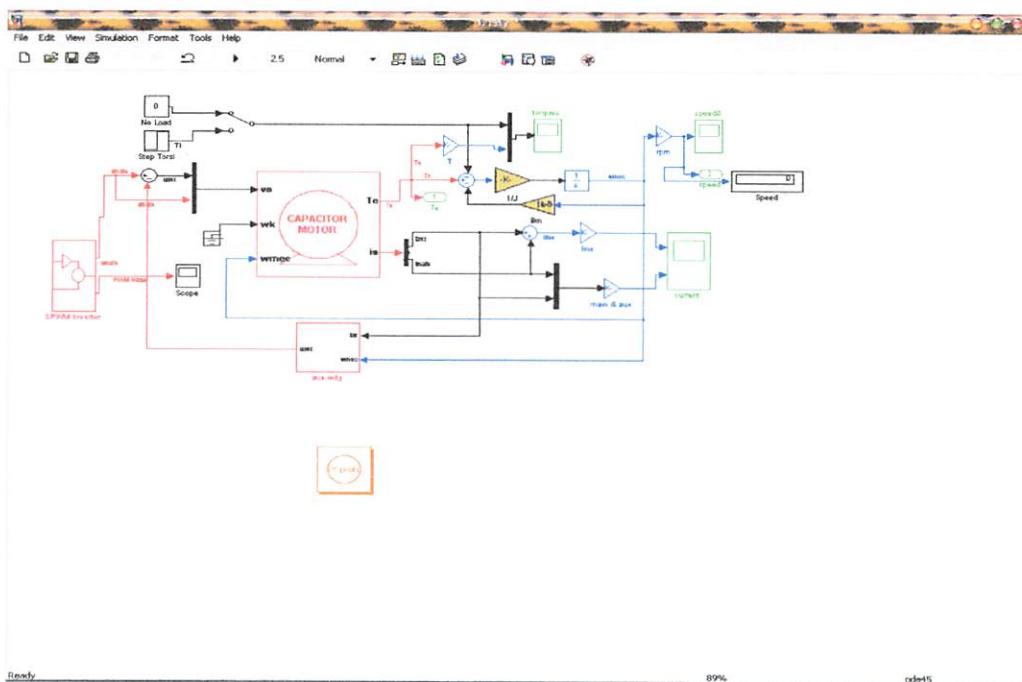


Gambar 2-16 [10]
Karakteristik Torsi Kecepatan Pada Pengaturan Tahanan Luar

BAB III

SINUSOIDAL PWM INVERTER

Secara umum pengontrol kecepatan motor induksi satu fasa yang menggunakan sinusoidal PWM inverter dapat dilihat pada gambar. Pada dasarnya system pengontrol ini merupakan kombinasi dari penyearah satu fasa (rectifier), inverter dan PWM generator. Dengan pengaturan besar fekuensi pada PWM control unit, frekuensi dan tegangan output dari inverter dapat diatur untuk mengontrol kecepatan motor induksi satu fasa.



Gambar 3.1
Rangkaian utama pengendali kecepatan motor induksi satu fasa

3.1 Penyearah dan Filter

Salah satu kegunaan dioda adalah untuk penyearah, yaitu mengubah arus AC (bolak – balik) menjadi arus DC (searah). Persamaan penyearah tegangan DC yang dihasilkan oleh rangkaian penyearah dioda adalah:

$$V_{DC} = V_m - \left[\frac{I_{DC}}{4fc} \right] \text{ dan } R_o = \frac{1}{4fc} \quad \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

Dimana V_m adalah tegangan puncak (maksimum), f adalah frekuensi dari sinyal AC (Hz) dan C adalah besarnya kapasitor (Farad) yang terpasang dan berfungsi sebagai filter.

Proses penyearahan menghasilkan tegangan DC yang masih mengandung riak atau ripple, yaitu tegangan AC yang masih menumpang diatas sinyal DC. Sebuah sumber tegangan DC yang ideal memiliki resistansi keluaran $R_o = 0$, dari persamaan diatas kondisi ini dapat didekati dengan nilai C sebesar mungkin. Dengan C besar diharapkan mendekati sumber tegangan DC ideal, menekan ripple dan berfungsi sebagai penyetabil tegangan DC yang keluar.

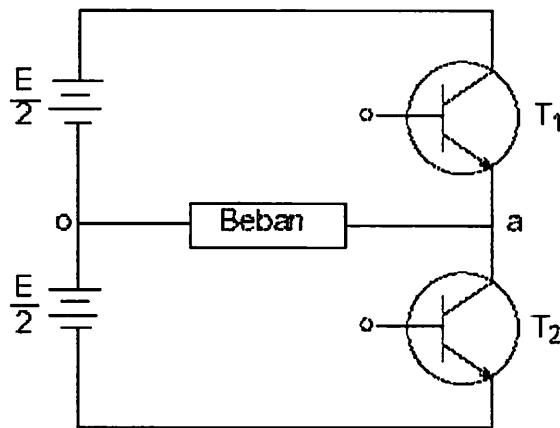
3.2 Inverter Satu Fasa Sebagai Suplai Tegangan Motor Induksi

Berdasarkan konfigurasinya, rangkaian daya inverter satu fasa dapat dikelompokkan menjadi tiga macam:

3.2.1 Inverter satu fasa setengah gelombang

Inverter ini menggunakan dua buah komponen daya, T 1 dan T2, untuk menghubungkan titik a dengan tegangan positif atau negatif. Kombinasi buka

hubung pada komponen daya menghasilkan 4 macam keadaan. Keadaan hubung pada T1 dan T2 akan mengakibatkan sumber arus searah terhubung singkat. Keadaan buka pada T1 dan T2 mengakibatkan tegangan pada titik a tidak tentu, tergantung dari kondisi awal dari rangkaian dan jenis bebannya .



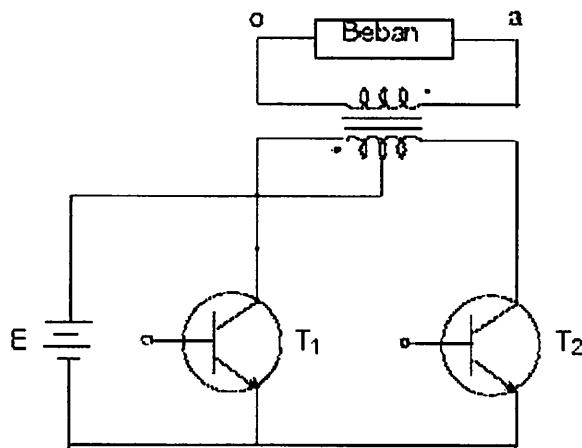
Gambar 3.2 Inverter satu fasa setengah gelombang [2]

Dengan demikian hanya dua keadaan yang dapat dikendalikan untuk membangkitkan tegangan bolak-balik pada beban. T1 hubung dan T2 buka menghasilkan V_a o p o s i t i p . T 1 buka dan T2 hubung menghasilkan V_a o n e g a t i p .

3.2.2 Inverter satu fasa dengan beban tap tengah

Cara kerja inverter satu fasa dengan beban tap tengah sama dengan inverter setengah gelombang. Tap tengah transformator berfungsi supaya beban mendapat tegangan bolak-balik. T1 hubung dan T2 buka akan

menghasilkan V_{ao} negatif. T_1 buka dan T_2 hubung menghasilkan V_{ao} p o s i t i p.



Gambar 3.3 Inverter satu fasa dengan beban tap tengah [2]

3.2.3 Inverter satu fasa gelombang penuh

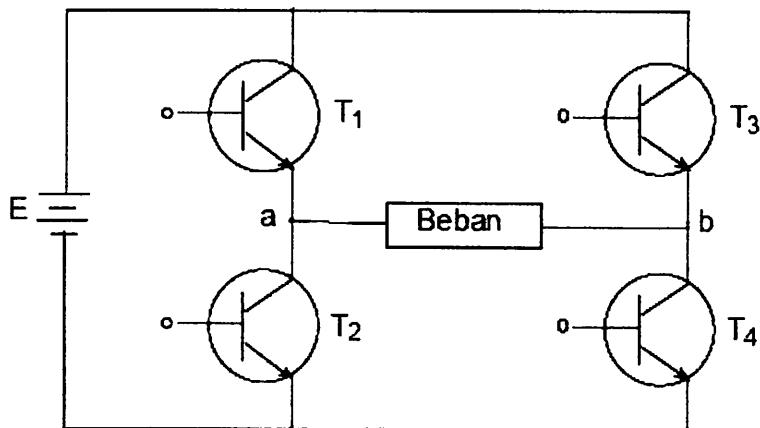
Inverter ini lebih dikenal sebagai inverter jembatan. Dapat ditinjau sebagai dua buah inverter setengah gelombang, sehingga persamaan tegangan V_{ab} dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$V_{ab} = V_{ao} - V_{bo}$$

Dengan titik o adalah titik tengah teoritis pada sumber tegangan dan V_{ao} serta V_{bo} merupakan dua keadaan yang ada pada inverter jembatan setengah.

Menggunakan 4 buah komponen daya sehingga mempunyai $2^4 = 16$ kemungkinan kombinasi yang berbeda dari kondisi buka hubung masing-masing komponen daya. Hanya 4 kemungkinan dari kombinasi ini dapat

menghasilkan tegangan bolak-balik pada beban karena kemungkinan yang lainnya akan mengakibatkan sumber tegangan terhubung singkat.



Gambar 3.4 Inverter satu fasa gelombang penuh [2]

Dari Tabel 1 terlihat bahwa 2 kemungkinan kondisi hubung buka komponen daya menghasilkan tegangan Va b nol, sehingga praktisnya hanya ada 3 kemungkinan bagi tegangan beban Va b , yaitu +E, -E, dan 0.

Tabel 3.1 Kemungkinan kondisi hubung komponen daya

Kondisi hubung	Tegangan beban Va b
T ₁ , T ₄	+E
T ₂ , T ₃	-E
T ₁ , T ₃	0
T ₂ , T ₄	0

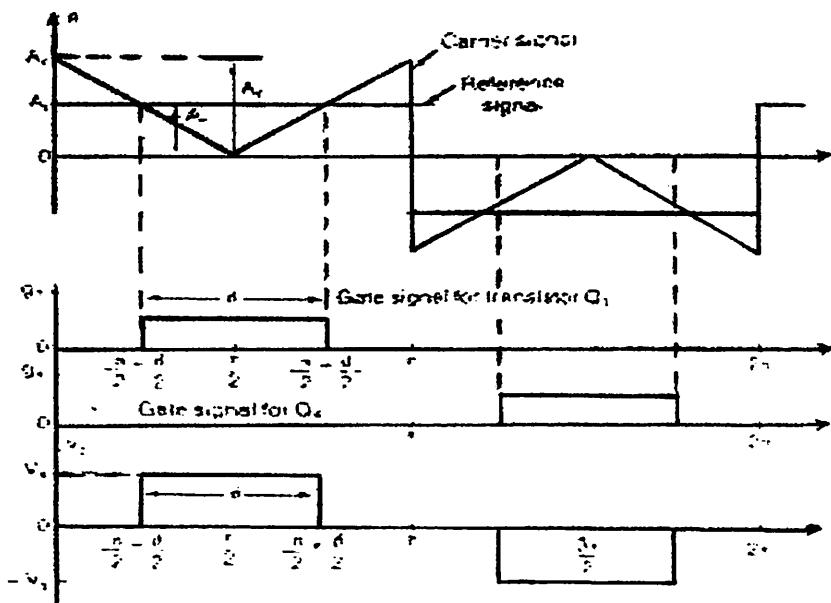
3.3 Metode Penyalaan Inverter PWM

Secara umum sistem kontrol Pulse Width Modulation (PWM) dilakukan dengan menggunakan teknik penyalaan :

1. Single PWM
2. Multiple PWM
3. Sinusoidal PWM
4. Modified sinusoidal PWM
5. Phasa Displacement Control

3.3.1 Single PWM

Dalam mengontrol single PWM, disini hanya satu pulsa per setengah siklus dan lebar pulsa diubah – ubah untuk mengontrol tegangan keluaran inverter. Gambar 3.5 menunjukan pembangkitan dari sinyal penguatan dan tegangan keluaran dari inverter Full bridge. Sinyal penguatan dibangkitkan oleh perbandingan amplitudo dari sinyal referensi empat persegi panjang Ar dengan amplitudo dari gelombang pembawa empat persegi panjang dengan amplitudo Ac. Frekuensi dari sinyal referensi menentukan frekuensi dasar dari tegangan keluaran. Oleh variasi Ar dari 0 sampai A, lebar pulsa δ dapat diubah – ubah dari 0 sampai 180 derajat. Perbandingan Ar dan Ac adalah variabel pengontrolan dan di definisikan sebagai amplitudo index modulasi.



Gambar 3.5 Single PWM [6]

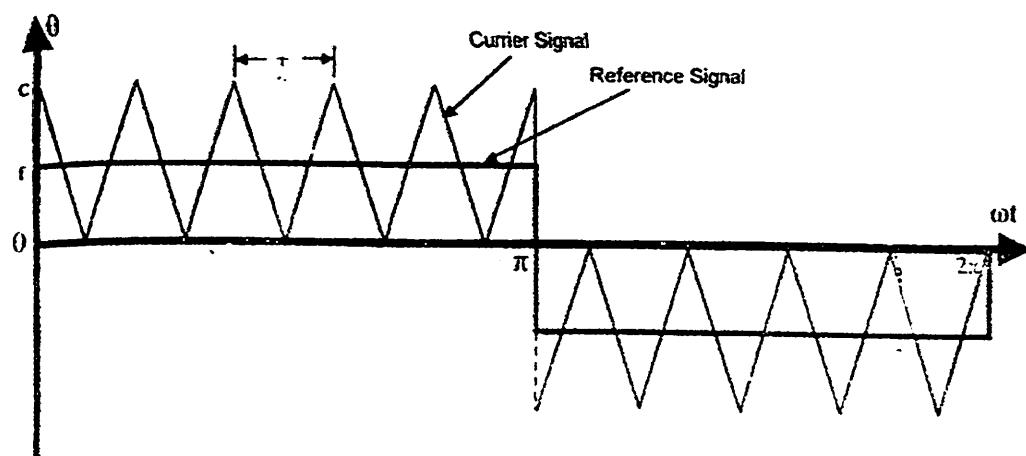
3.3.2 Multiple PWM

Isi harmonika dapat dikurangi oleh penggunaan beberapa pulsa dalam tiap setengah siklus dari tegangan keluaran. Pembangkitan sinyal referensi untuk turn – on dan turn – off transistor ditunjukkan dalam gambar 3.6a oleh perbandingan sebuah sinyal referensi dengan gelombang pembawa empat persegi panjang. Frekensi dari sinyal referensi mengatur frekuensi keluaran f_o dan frekuensi pembawa f_c , dan untuk menentukan jumlah pulsa per setengah siklus. Index modulasi mengontrol tegangan keluaran. Tipe dari modulasi ini juga dikenal sebagai uniform pulse width modulation (UPWM). Jumlah pulsa per setengah siklus diperoleh dari:

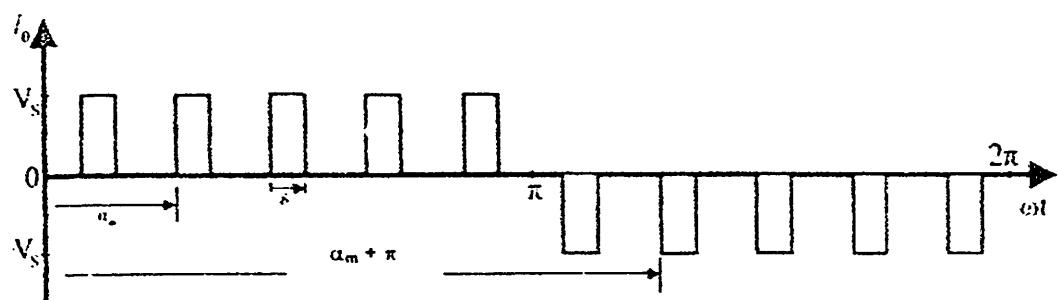
$$P = \frac{f_c}{2f_o} = \frac{mf}{2} \quad \dots \dots \dots \quad (3.2)$$

Dimana $mf = fc / fo$ didefinisikan sebagai perbandingan frekuensi modulasi.

Variasi dan indeks modulasi M dari 0 sampai 1, variasi lebar pulsa dari 0 sampai π / p dan tegangan keluaran dari 0 sampai V_s . Tegangan keluaran ditunjukkan dalam gambar 3.6b untuk UPWM.



a. pembangkit tegangan keluaran



b. pembangkit tegangan keluaran

Gambar 3.6 Multiple PWM^[6]

Jika δ adalah lebar tiap pulsa, tegangan rms keluaran dapat diperoleh dari

Bentuk umum dari deret fourier untuk tegangan keluaran adalah

Koefisien B_n dalam persamaan 3.5 dapat ditentukan dengan mempertimbangkan sepasang pulsa positif selama durasi δ dimulai pada $\varpi t = \alpha$ dan pulsa negatif yang lebarnya sama dengan pulsa positif yang dimulai dari $\varpi t = \pi + \alpha$. Ini ditunjukkan dalam gambar 3.6b. Pengaruh dari semua pulsa dapat digabungkan bersama-sama untuk menghasilkan tegangan keluaran yang efektif. Jika pulsa positif dari sepasang pulsa m mulai $\varpi t = \alpha m$ dan diakhiri pada $\varpi t = \alpha m + \pi$, koefisien fourier untuk sepasang pulsa adalah :

$$2Vs / n\pi \sin n\delta / 2 [\sin n(\alpha m + \delta / 2) - \sin n(\pi + \alpha m + \delta / 2)]$$

Koefisien B_n dari persamaan 3.5 dapat diperoleh dengan menambah efek dari semua pulsa.

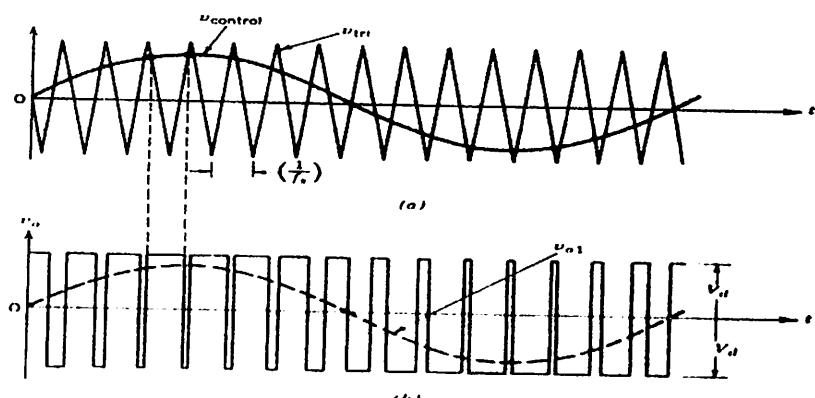
$$B_n(t) = \sum_{m=1}^p \frac{2Vs}{n\pi} \sin \frac{n\delta}{2} [\sin n(\alpha m + \delta/2) - \sin n(\pi + \alpha m + \delta/2)] \dots \dots \dots (3.6)$$

3.3.3 Sinusoidal PWM

Dalam hal ini, kami menggunakan sinusoidal PWM sebagai metode penyalaan inverter pada simulasi pengontrolan kecepatan motor induksi satu fasa. Pada dasarnya sinusoidal PWM ini merupakan hasil modulasi dari dua sinyal / gelombang yaitu gelombang sinus yang dibangkitkan oleh *pulse* generator dengan gelombang segitiga yang dibangkitkan oleh *pulse* generator yang lain. Disini besarnya gelombang segitiga dibuat tetap dan besarnya gelombang sinus diubah – ubah sehingga didapatkan hasil modulasi berupa gelombang kotak yang akan digunakan untuk teknik *switching* pada gate inverter untuk setiap siklus T on dan T off.

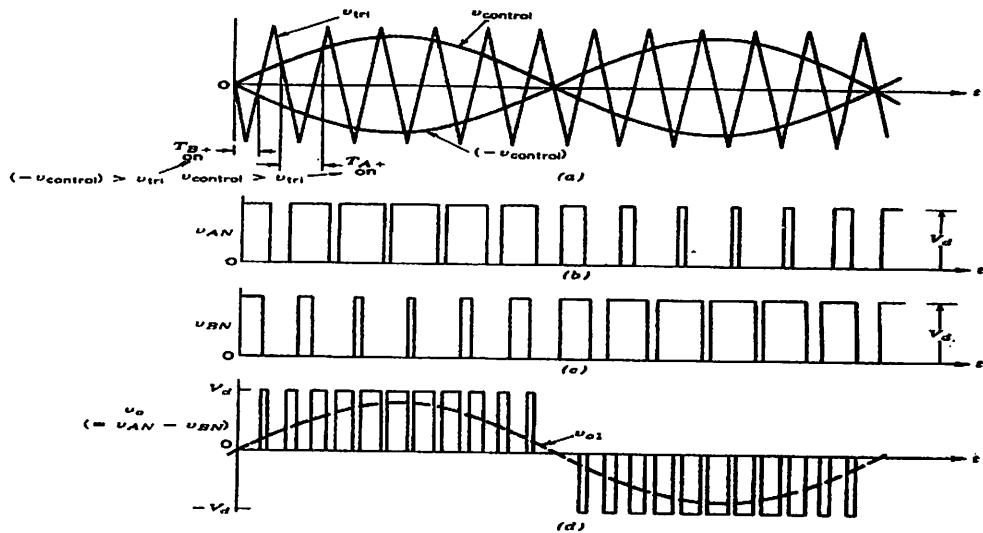
Metode penyalaan sinusoidal PWM dapat dijelaskan sebagai berikut :

Dalam teknik penyalaan ini, lebar dari setiap pulsa berubah sesuai dengan besar amplitudo dari gelombang sinus dilihat dari tengah pada pulsa yang sama. Sinyal gate dibangkitkan dengan perbandingan sinyal referensi sinusoidal dengan gelombang pembawa tringular. Sinyal output yang tampak pada gambar berikut :



Gambar 3.7 Pulsa keluaran PWM Generator^[7]

Frekuensi sinyal referensi f_r menentukan frekuensi output f_o dan amplitudo A_r , berfungsi untuk mengontrol indeks modulasi M kemudian membalikkan tegangan output rms V_o . Jumlah pulsa per setengah periode tergantung pada frekuensi pembawa, dengan asumsi bahwa transistor tidak menyala dalam waktu bersamaan. Maka tegangan outputnya akan diperoleh seperti pada gambar 3.8b dan 3.8c. Sinyal yang sama juga akan dihasilkan oleh sinyal keluaran inverter seperti pada gambar 3.8d.



Gambar 3.8 [6]

b,c tegangan output transistor dan d tegangan output inverter

Tegangan output rms dapat divariasikan dengan mengubah harga indeks modulasi M yang berharga antara 0 sampai 1. Jika m menyatakan harga indeks modulasi maka tegangan output rms dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

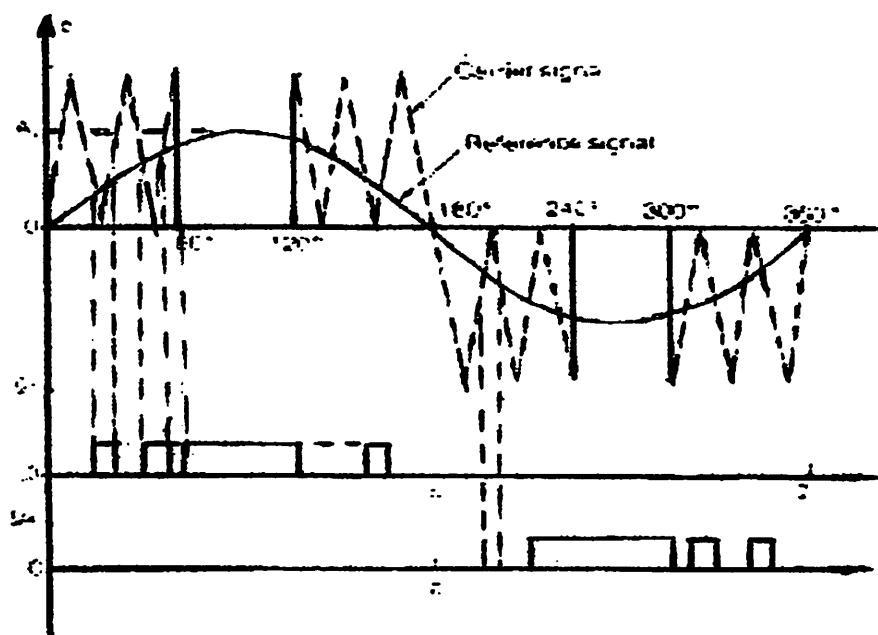
Dimana : V_{rms} = Tegangan efektif

m = Indeks modulasi

V_{DC} = Tegangan DC

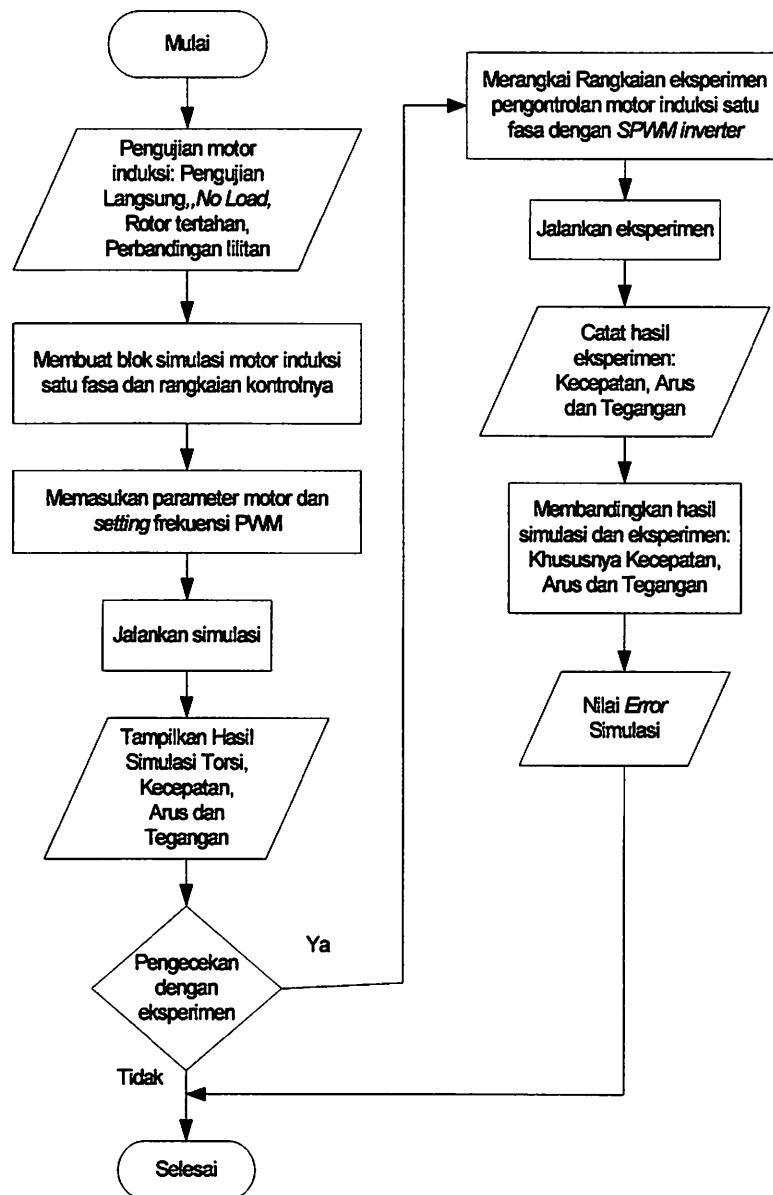
3.3.4 Modified Sinusoidal PWM

Teknik SPWM dapat dimodifikasi sedemikian sehingga gelombang pembawa diberikan selama interval 0 sampai 60 derajat tiap setengah siklus (antara lain 0 sampai 60 derajat dan 120 sampai 180 derajat). Modulasi jenis ini dikenal sebagai MSPWM dan ditunjukkan pada gambar 3.9. Komponen dasar ditambahkan dan karakteristik harmoniknya di tingkatkan. Itu mengurangi banyaknya switching alat power dan juga mengurangi kerugian switching.



Gambar 3.9 Modified Sinusoidal PWM^[6]

3.4 Flow Chart Pemecahan masalah secara umum



BAB IV

SIMULASI, EKSPERIMENT DAN HASILNYA

Dalam bab ini akan dilakukan simulasi pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa, simulasi dilakukan dengan simulink matlab 7.0, sebelum simulasi terlebih dahulu dibuat model simulink dan rangkaian pengontrol motor induksinya.

Pada pengujian ini motor yang digunakan adalah motor induksi jenis kapasitor starting dengan langkah – langkah sebagai berikut : Untuk menentukan parameter – parameter motor induksi yang akan dianalisa maka dapat dilakukan dengan mengambil parameter dengan melakukan pengujian.

4.1. Menentukan Parameter Motor

Pengujian untuk menentukan parameter motor induksi satu phasa dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Elektrik ITN Malang

4.1.1. Alat-Alat Yang Dipergunakan Dalam Pengujian.

1. Motor induksi satu fasa dengan data:

- Type : Fujikawa
- Daya : 100 watt
- Tegangan : 220 volt
- Cap start : $6 \mu F$
- Kec putaran : 2800 rpm

2. Torsi meter DL 2006 C

3. Turet DL 1013 M

4. RCL meter,merk Philips,type PM6303
5. 1 panel ukur DL 1031
6. $\text{Cos}\varphi$ meter,DL 2109T27
7. Tachometer
8. Jumber/kabel

4.1.2. Pengujian Parameter Lilitan Dan Kapasitor Motor Secara Langsung.

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan LCR Meters,dengan data pengujian sebagai berikut:

$$R_{\text{main}} = 5 \text{ ohm}$$

$$R_{\text{aux}} = 16,5 \text{ ohm}$$

$$L_{\text{main}} = 24,93 \text{ mH}$$

$$L_{\text{auxiliary}} = 69,34 \text{ mH}$$

4.1.3. Pengujian rotor tertahan

**Tabel 4-1
Data Hasil pengujian rotor tertahan
Motor induksi satu Phasa**

Kumparan	V(volt)	I(Amp)	W (watt)
Utama(main)	65	1.4	80
Bantu (aux)	55	0.93	55

4.1.4. Pengujian tanpa beban

Tabel 4-2
Data hasil pengujian tanpa beban
Motor induksi satu phasa

V_n (Volt)	I_n (Amp)	W_n (Watt)
220	0,83	90

4.1.5. Pengujian Perbandingan Kumparan

Tabel 4-3
Data hasil pengujian perbandingan kumparan
Motor induksi satu phasa

V_s (Volt)	V_m (Volt)	V_a (Volt)
220	200	320
180	160	280

4.2 Analisa Data Pengujian Motor Induksi Satu Phasa

- Langkah pertama,

Dari persamaan 2-10 s/d 2-13,maka diperoleh nilai:

$$Z_e = \frac{V_L}{I_L} = \frac{65}{1.4} = 46.42 \text{ ohm}$$

$$R_e = \frac{W_L}{I_L^2} = \frac{80}{1.4^2} = 40.81 \text{ ohm}$$

$$X_e = \sqrt{Z_e^2 - R_e^2} = \sqrt{46.42^2 - 40.81^2} = 22.12 \text{ ohm}$$

Jika reaktansi magnetic diasumsikan sama untuk sumbu start dan sumbu utama.

Maka:

$$X_0 = \frac{2V_n}{I_n} = \frac{2 \times 220}{0.83} = 530.12 \text{ ohm}$$

➤ Langkah kedua.

Untuk perhitungan yang lebih akurat maka,dari persamaan

(2-15)diperoleh:

$$K_r = \frac{X_o - X_e}{X_o} = \frac{(530.12 - 22.12)}{530.12} = 0.958 \text{ ohm}$$

Untuk arus magnetik tanpa beban:

$$\begin{aligned} I_{\text{mag main}} &= \frac{I_n}{1 + \frac{K_r}{2 - K_r}} = I_n \cdot \frac{2 - K_r}{2} = 0.83 \cdot \frac{2 - 0.958}{2} \\ &= 0.432 \text{ Amp} \end{aligned}$$

$$Z_{mM} = \frac{V_n}{I_{\text{mag main}}} = \frac{220}{0.432} = 509.25 \text{ ohm}$$

Untuk komponen sumbu start,arus magnetiknya adalah:

$$I_{\text{mai cross}} = \frac{K_r}{2 - K_r} \times I_{\text{man main}}$$

$$= \frac{0.958}{2 - 0.958} \times 0.432$$

$$= 0.397 \text{ Amp.}$$

$$Z_{mc} = \frac{V_n}{I_{\text{mag cross}}} = \frac{220}{0.397} = 554.156 \text{ ohm}$$

Jika arus magnetic pada sumbu utama sudah diketahui, maka sesuai dengan persamaan (2-19) diperoleh X_o yang lebih akurat menjadi:

$$X_o = \frac{V_n}{I_{mag\ main}} = \frac{220}{0.432} = 509.25 \text{ ohm}$$

perkiraan yang kedua K_r , adalah:

$$K_r = \frac{X_o - X_e}{X_o} = \frac{509.25 - 22.12}{509.25} = 0.956$$

Dari persamaan (2-21) dan (2-22) dipeoleh nilai resistansi dan reaktansi rotor dalam stator sebagai berikut,

$$R_2 = \frac{R_e - R_1}{K_r} = \frac{40.81 - 5}{0.956} = 37.45 \text{ ohm}$$

$$\begin{aligned} X_1 = X_2 &= X_e \frac{1 - \sqrt{K_r}}{1 - K_r} \\ &= 22.12 \cdot \frac{1 - \sqrt{0.956}}{1 - 0.956} \\ &= 11.56 \text{ ohm} \end{aligned}$$

➤ Langkah ketiga

Sesuai dengan persamaan (2-24) /d (2-31), maka diperoleh parameter akhir sebagai berikut:

$$R_2' = \frac{W_L}{I_L^2} - R_1$$

$$\begin{aligned} &= \frac{80}{1.4^2} - 5 \\ &= 35.81 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Pendekatan pertama :

$$X_e' = \sqrt{\left(\frac{V_I}{I_I}\right)^2 - \left(\frac{W_I}{I_I}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{65}{1.4}\right)^2 - \left(\frac{80}{1.4^2}\right)^2} = \sqrt{2155.61 - 1665.9} = 22.21 \text{ ohm}$$

$$X_o = \frac{2V_n}{I_n} - X_e' = \frac{2 \cdot 220}{0.83} - 22.21 = 507.91 \text{ ohm}$$

$$K_r = \frac{X_o - X_e'}{X_o} \frac{507.91 - 22.21}{507.91}$$

$$= 0.956$$

Pendekatan kedua:

$$\begin{aligned} X_e &= \frac{V_n}{I_n} - \sqrt{\left(\frac{V_n}{I_n} - X_e'\right)^2 + (R_2)^2} \\ &= \frac{220}{0.83} - \sqrt{\left(\frac{220}{0.83} - 22.21\right)^2 + (35.81)^2} \\ &= 19.59 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$K_r = \frac{X_o - X_e'}{X_o} = \frac{507.91 - 19.59}{507.91}$$

$$= 0.96$$

$$R_2 = \frac{R_2'}{K_r} = 37.08 \text{ ohm}$$

Sehingga dari analisa diatas diperoleh parameter baru berupa :

$$R_2 = 37.30 \Omega$$

$$X_2 = 11.56 \Omega$$

$$X_o = X_m = 507.91 \Omega$$

$$Z_{mM} = 509.25 \Omega$$

$$Z_{mc} = 554.15 \Omega$$

Dari persamaan (2-9)maka diperoleh nilai perbandingan kumparan

(a)adalah sebagai berikut:

$$\alpha = \sqrt{\frac{E_a \cdot E_a}{E_m \cdot E_m}}$$

$$= \sqrt{\frac{280 \times 320}{200 \times 160}} = 1.67$$

Untuk reaktansi lilitan dapat diperoleh dengan persamaan secara umum,dimana untuk,

$$\text{Reaktansi stator lilitan utama } (X_{1M}) = 2\pi f L$$

$$= 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 24.93 \times 10^{-3}$$

$$= 7.82 \text{ ohm}$$

$$\text{Reaktansi stator lilitan start } (X_{1S}) = 2\pi f L$$

$$= 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 69.34 \times 10^{-3}$$

$$= 21.77 \text{ ohm}$$

Untuk nilai kapasitor dalam ohm adalah sebagai berikut:

$$Z_c = -jX_c = \frac{-j}{2\pi f c} = \frac{-j}{2 \times 314 \times 50 \times 6.10^{-6}}$$

$$= -j530.78 \text{ ohm}$$

Dari pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan maka didapatkan parameter motor induksi satu phasa sebagai berikut:

$$Z_{lm} = 5 + j7.82 \text{ ohm}$$

$$Z_{ls} = 16.5 + j21.77 \text{ ohm}$$

$$Z_2 = 37.30 + j11.56 \text{ ohm}$$

$$X_m = 507.91 \text{ ohm}$$

$$a = 1.67$$

Berikut adalah parameter motor yang akan dimasukan pada blok simulink :

$$R_1 = \frac{R_{IM} \times R_{IS}}{R_{IM} + R_{IS}} = \frac{5 \times 16.5}{5 + 16.5} = 3.83 \text{ ohm}$$

$$R_2 = 37.30 \text{ ohm}$$

$$L_1 = \frac{L_{IM} \times L_{IS}}{L_{IM} + L_{IS}} = \frac{0.02493 \times 0.06934}{0.02493 + 0.06934} = 0.01833 \text{ H}$$

$$L_2 = \frac{X_{L2}}{2\pi f} = \frac{11.56}{2 \times 3.14 \times 50} = 0.03681 \text{ H}$$

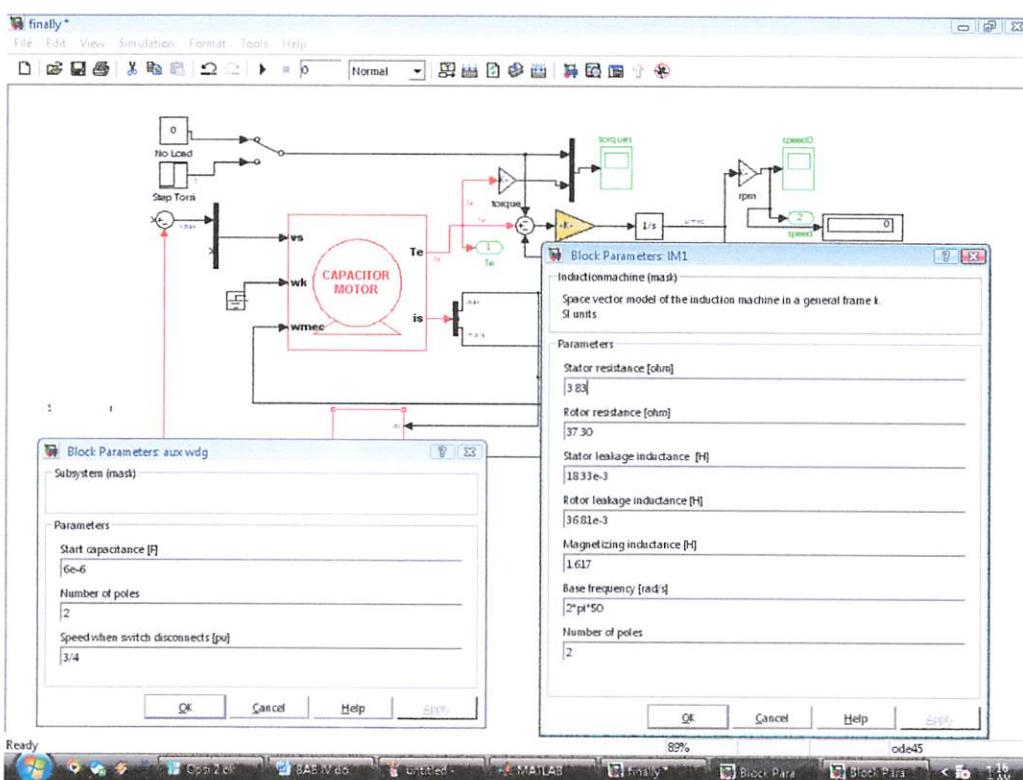
$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} = \frac{507.91}{2 \times 3.14 \times 50} = 1.617 \text{ H}$$

$$C = 6 \mu F$$

4.3. Simulasi Pada Matlab Simulink

4.3.1 Rangkaian Pengontrol Pada Matlab Simulink

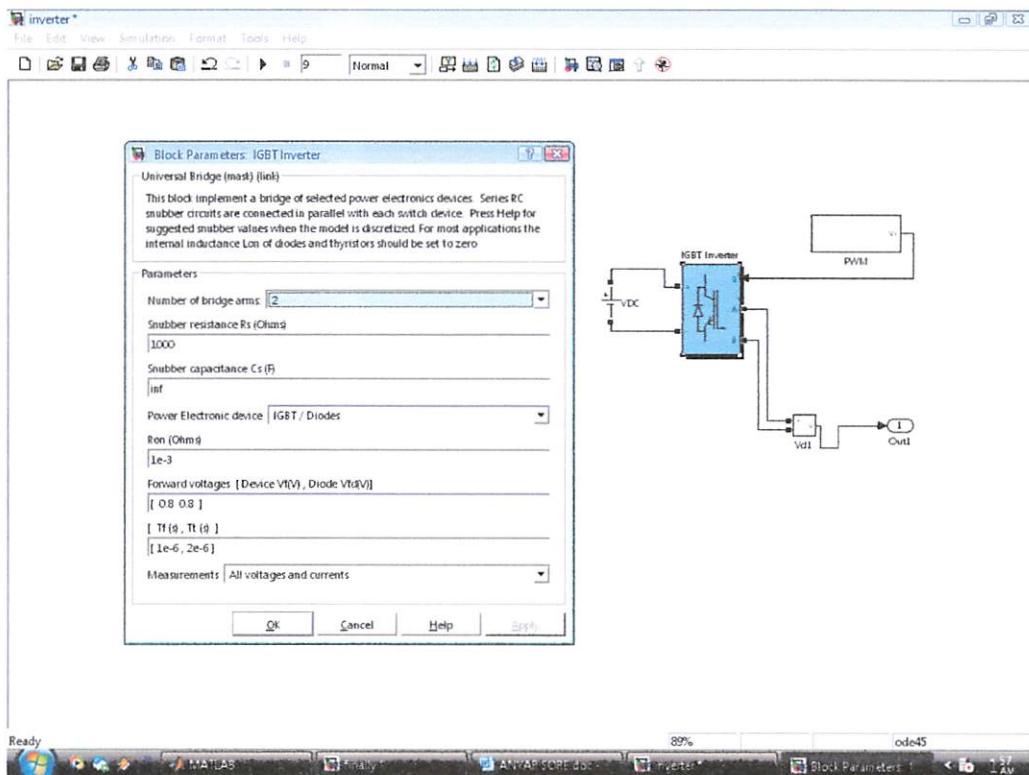
4.3.1.1 Blok Rangkaian Motor Induksi Satu Fasa Starting Kapasitor



Gambar 4.1

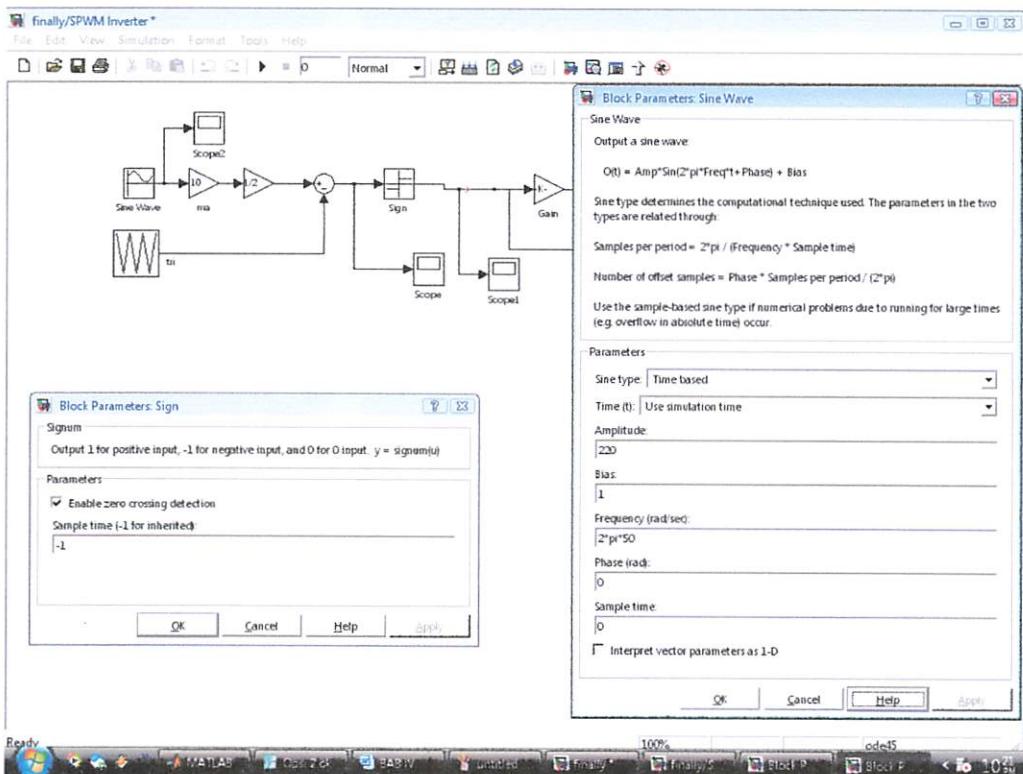
Blok Rangkaian Motor Induksi Satu Fasa Starting Kapasitor

4.3.1.2 Blok Rangkaian Inverter



Gambar 4.2 Blok Rangkaian Inverter

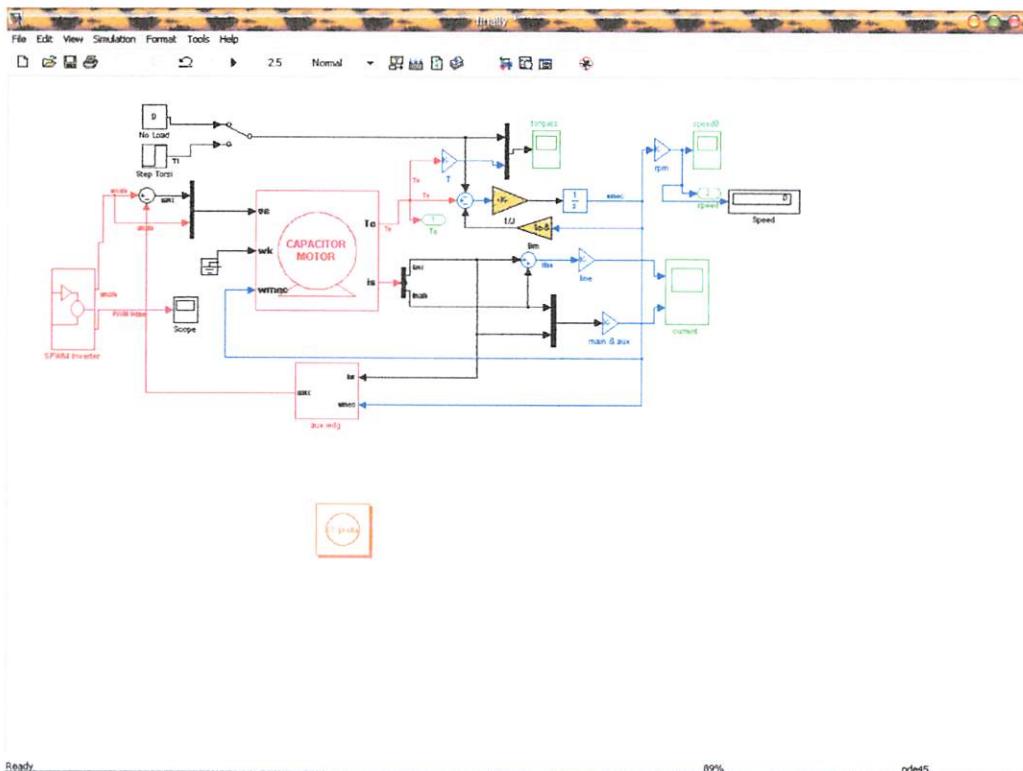
4.3.1.3 Blok Rangkaian PWM Generator



Gambar 4.3 Blok Rangkaian PWM Generator

4.3.2 Pemodelan Sistem

Berdasarkan parameter diatas dibuat model simulasi sistem pengontrolan kecepatan motor induksi secara lengkap sebagai berikut :

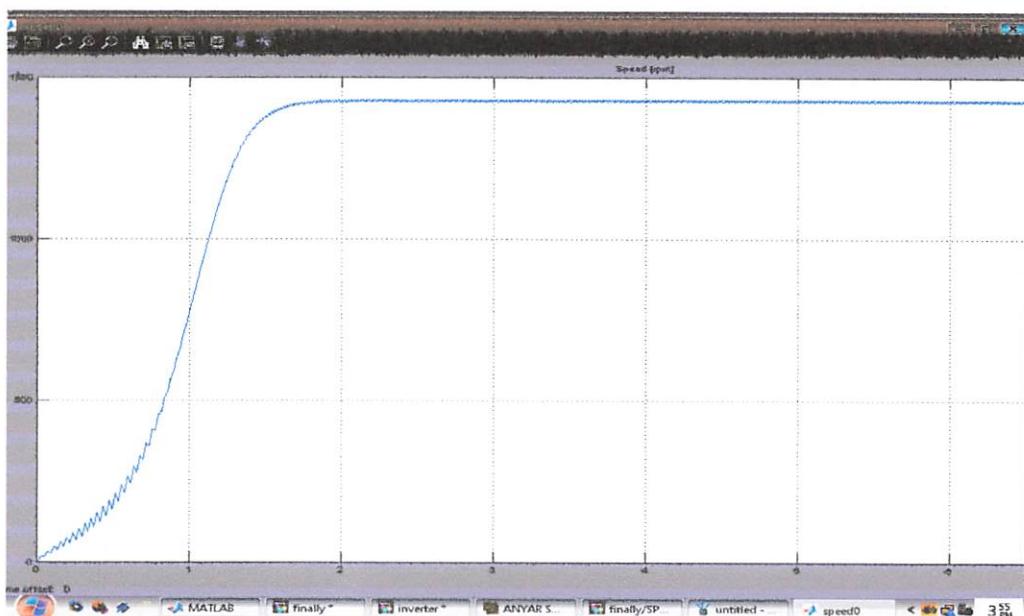


Gambar 4.4

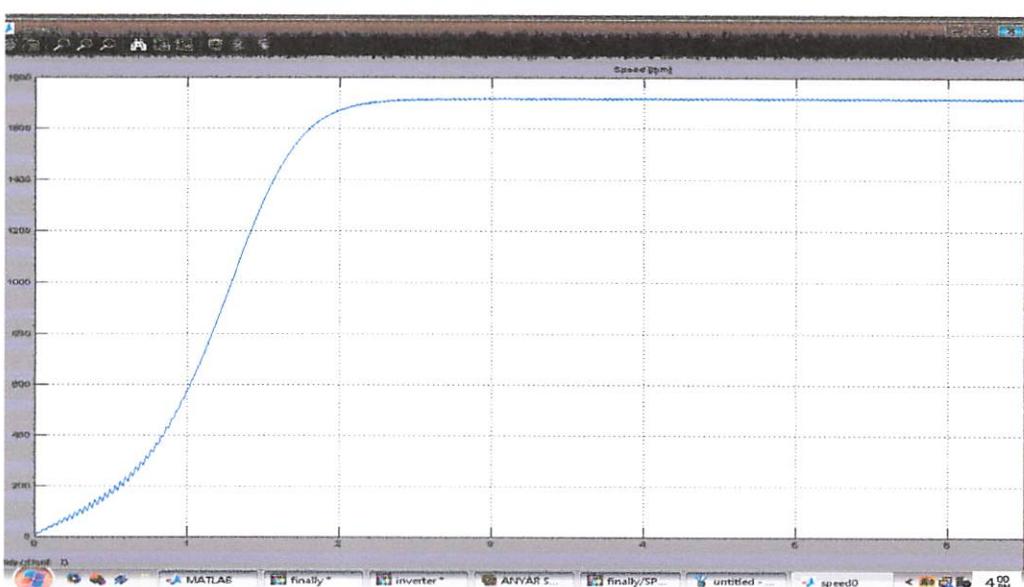
Model Simulink sistem Pengontrolan Kecepatan Motor Induksi

4.3.3 Hasil Simulasi

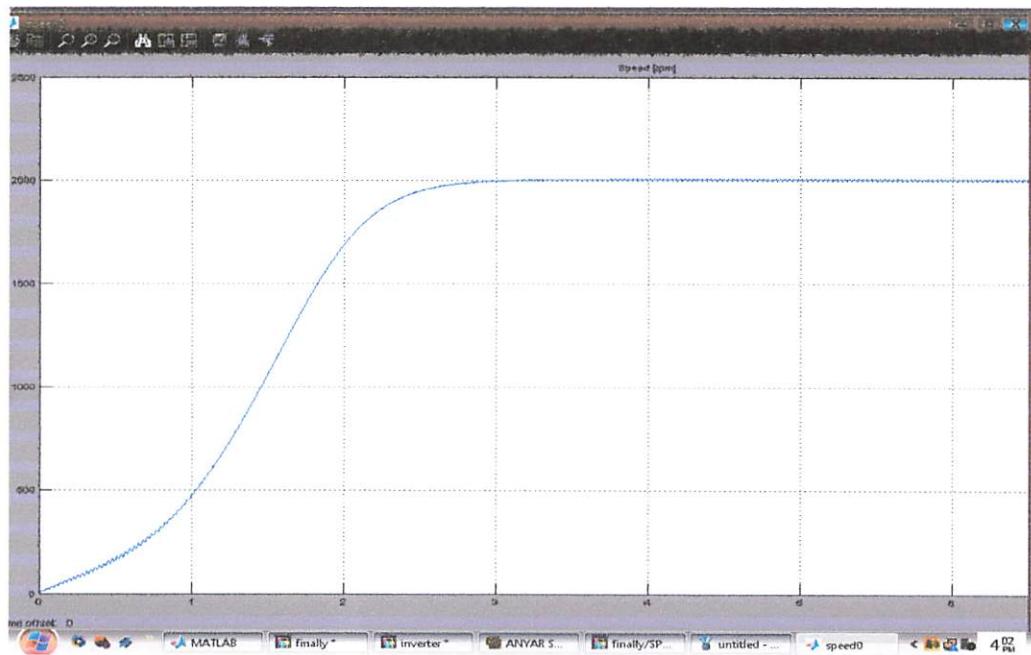
4.3.3.1 Hasil Simulasi Tanpa Beban



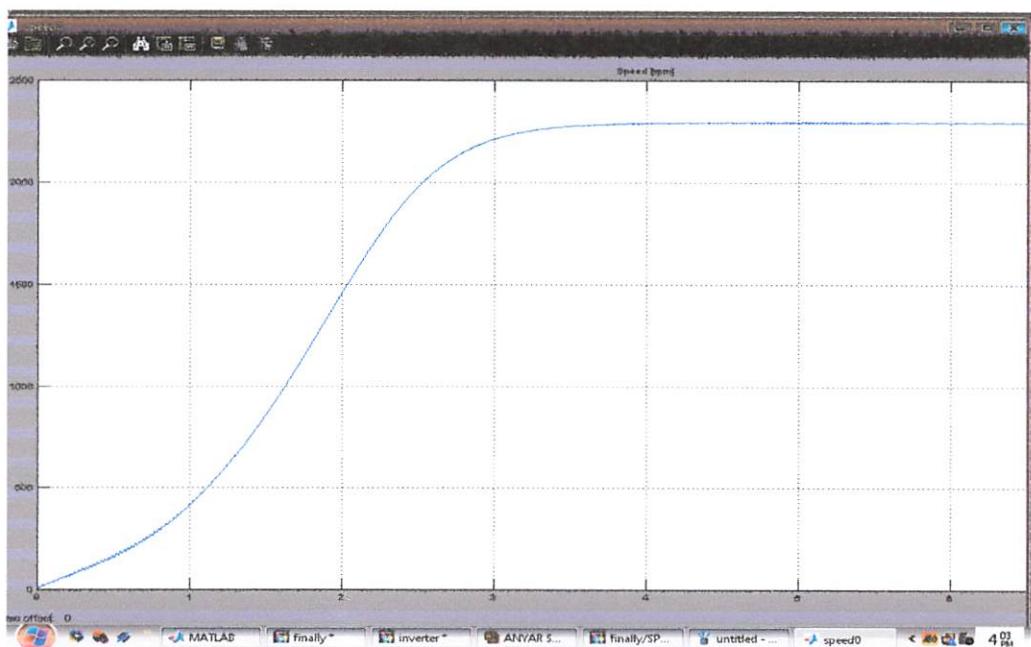
Gambar 4.5 Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 25 \text{ Hz}$



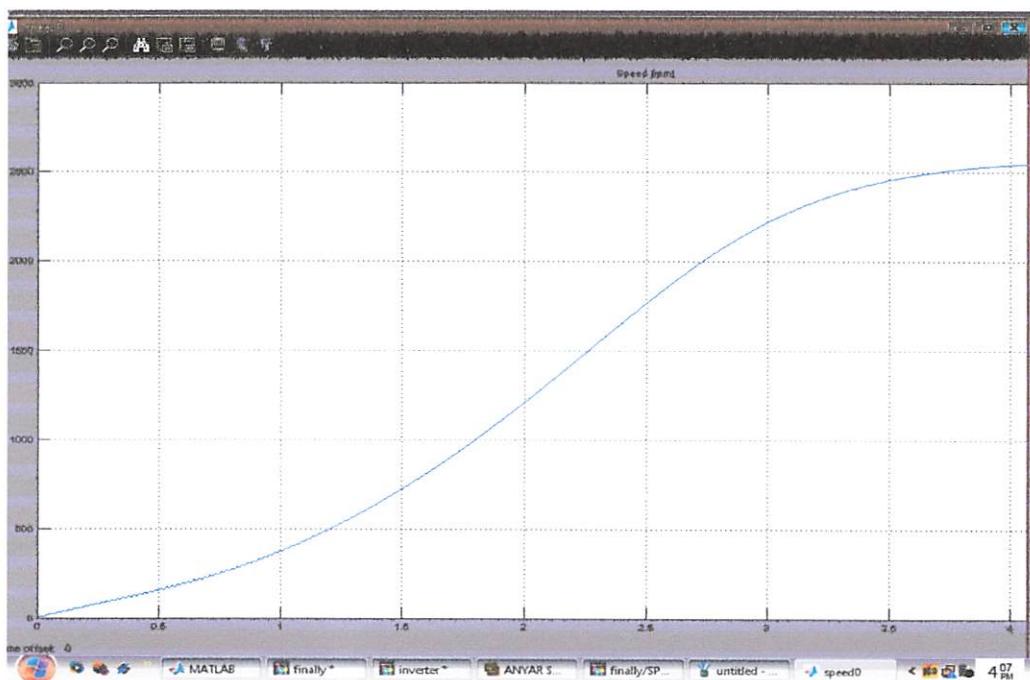
Gambar 4.6 Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 30 \text{ Hz}$



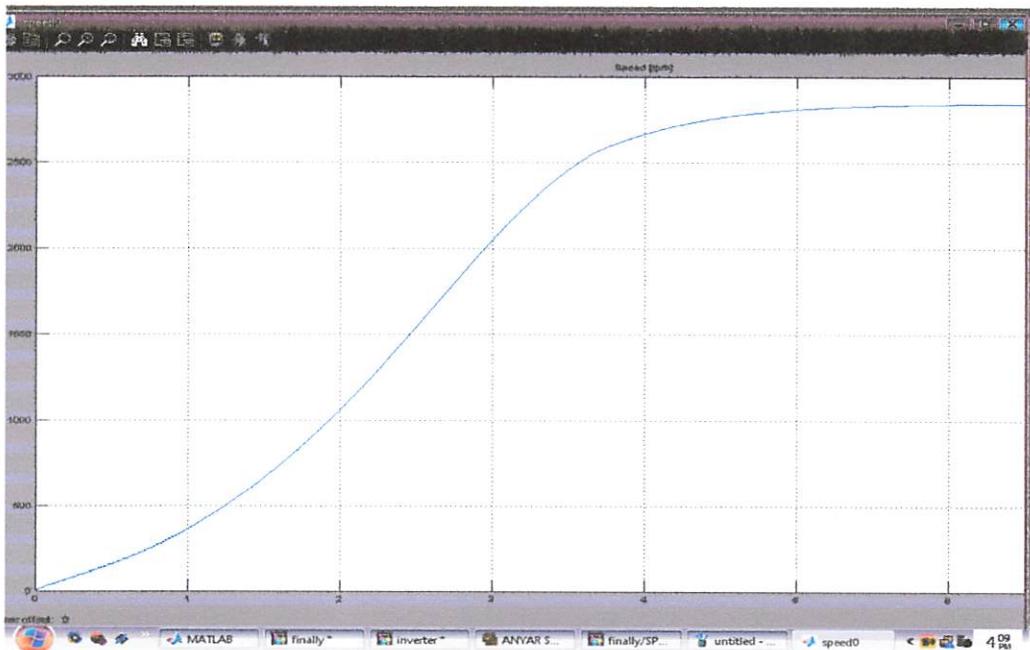
Gambar 4.7 Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 35$ Hz



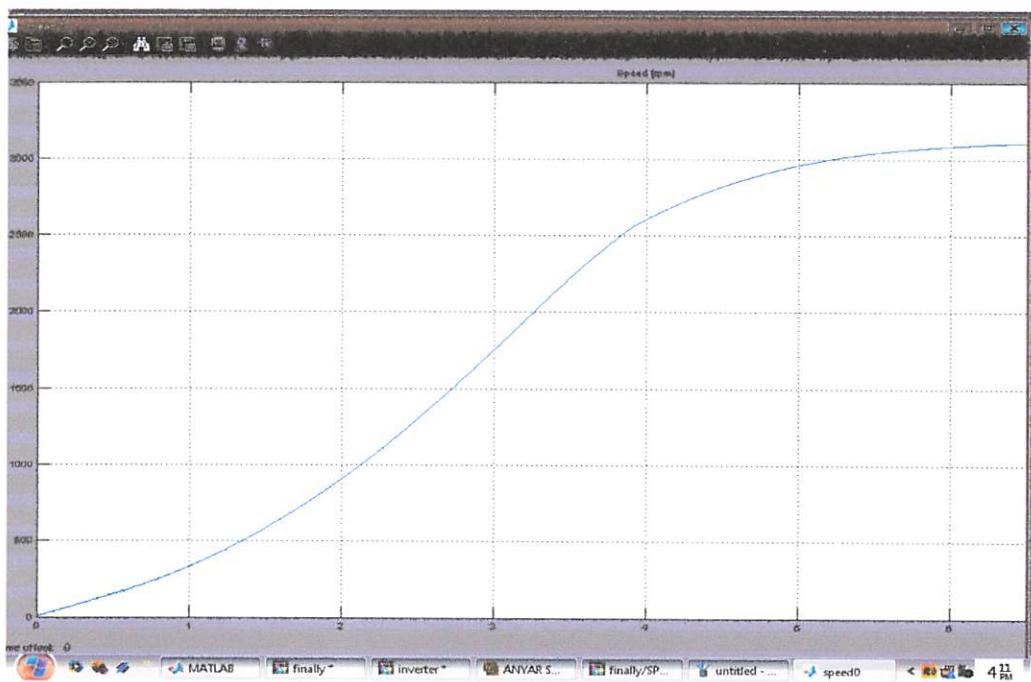
Gambar 4.8 Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 40$ Hz



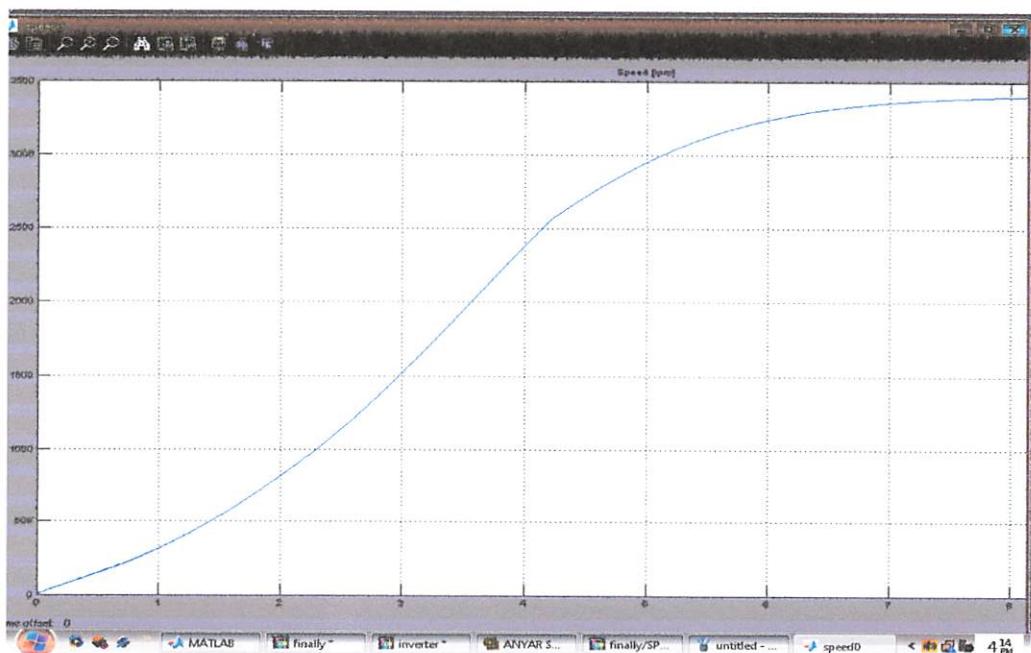
Gambar 4.9 Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 45 \text{ Hz}$



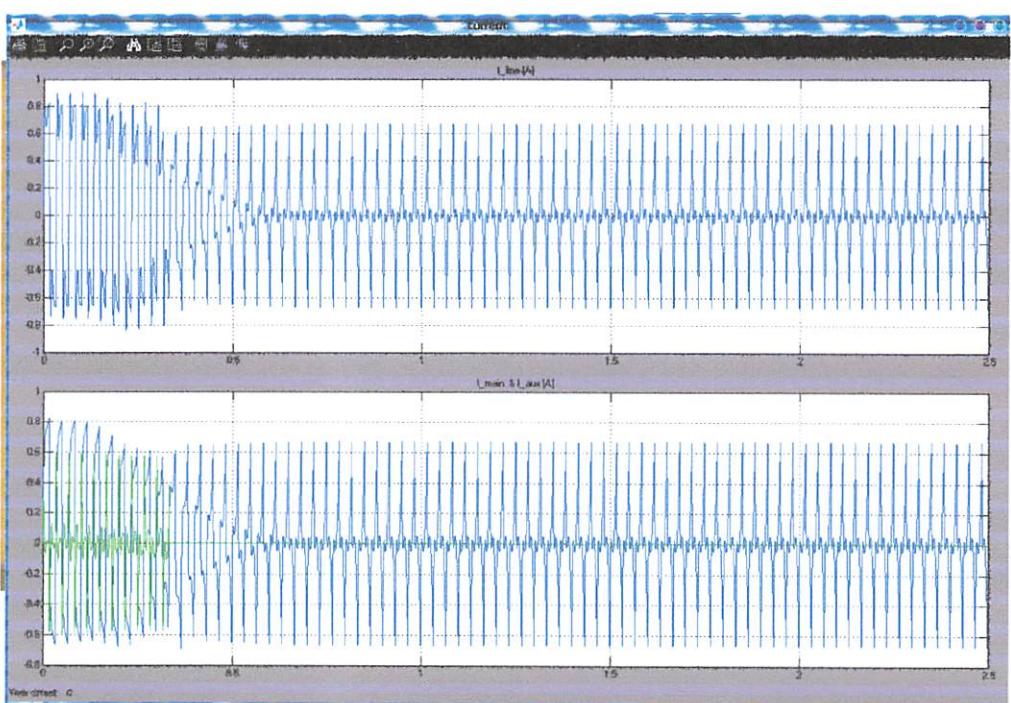
Gambar 4.10 Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 50 \text{ Hz}$



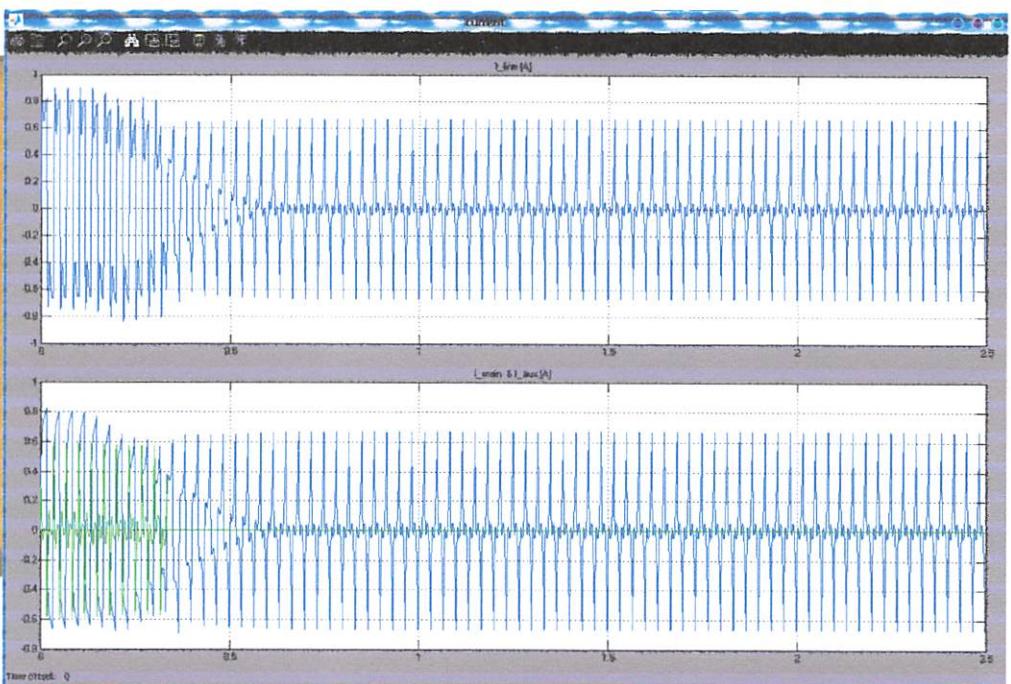
Gambar 4.11 Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 55 \text{ Hz}$



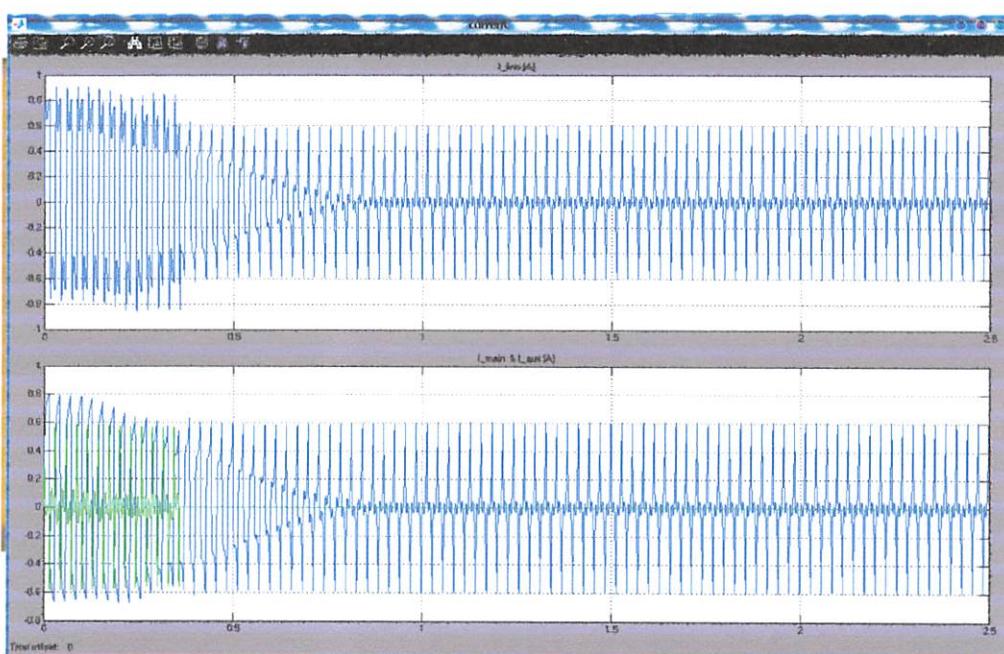
Gambar 4.12 Hasil simulasi kecepatan motor tanpa beban pada $f = 60 \text{ Hz}$



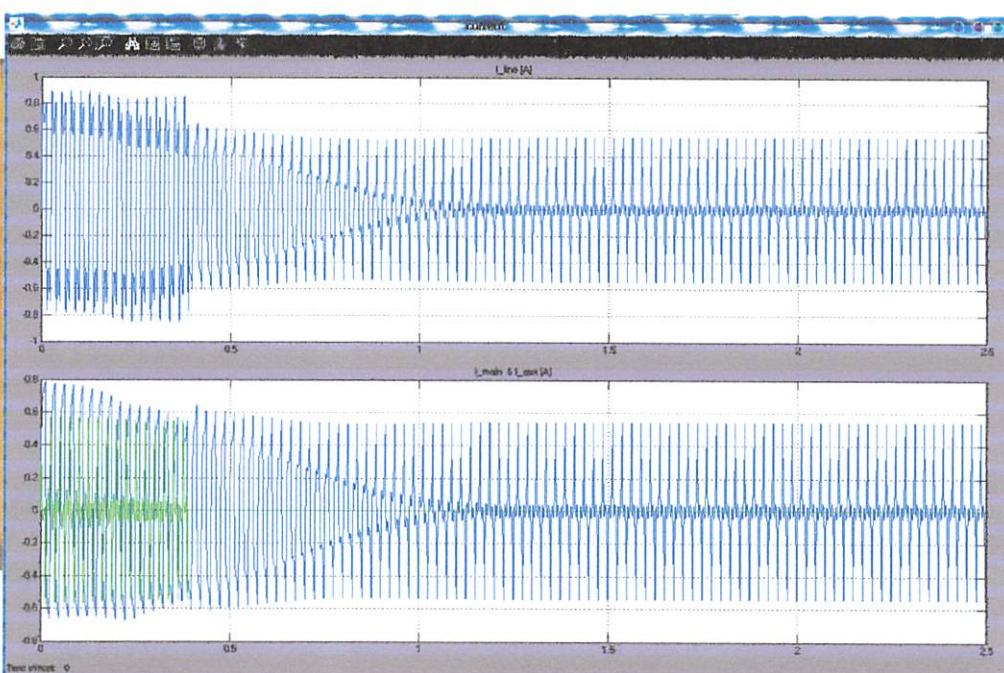
Gambar 4.13 Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada $f = 25$ Hz



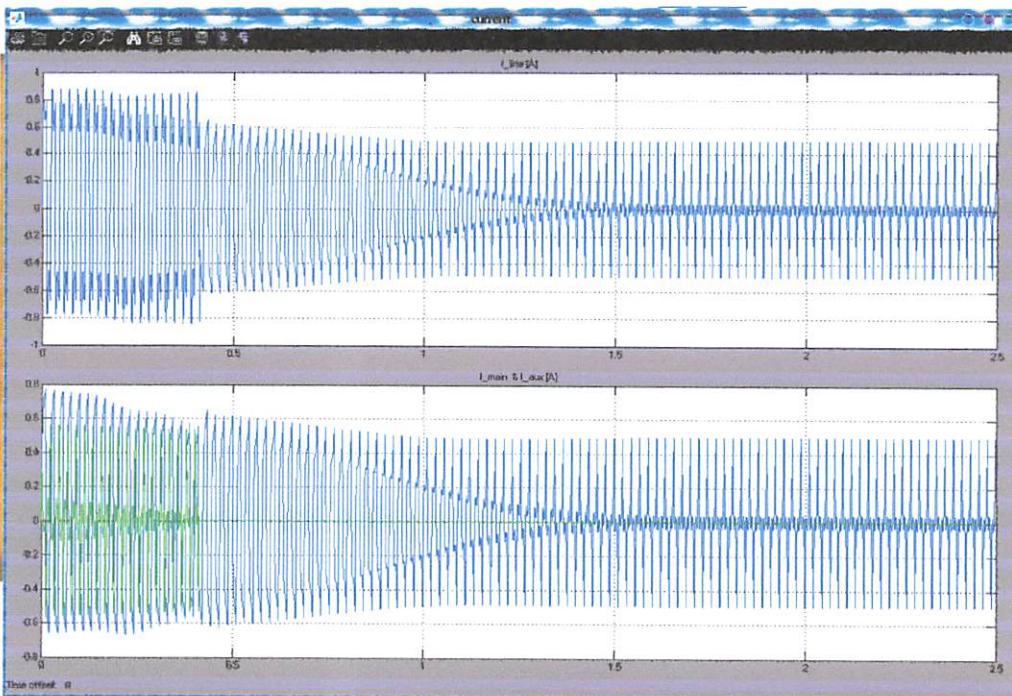
Gambar 4.14 Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada $f = 30$ Hz



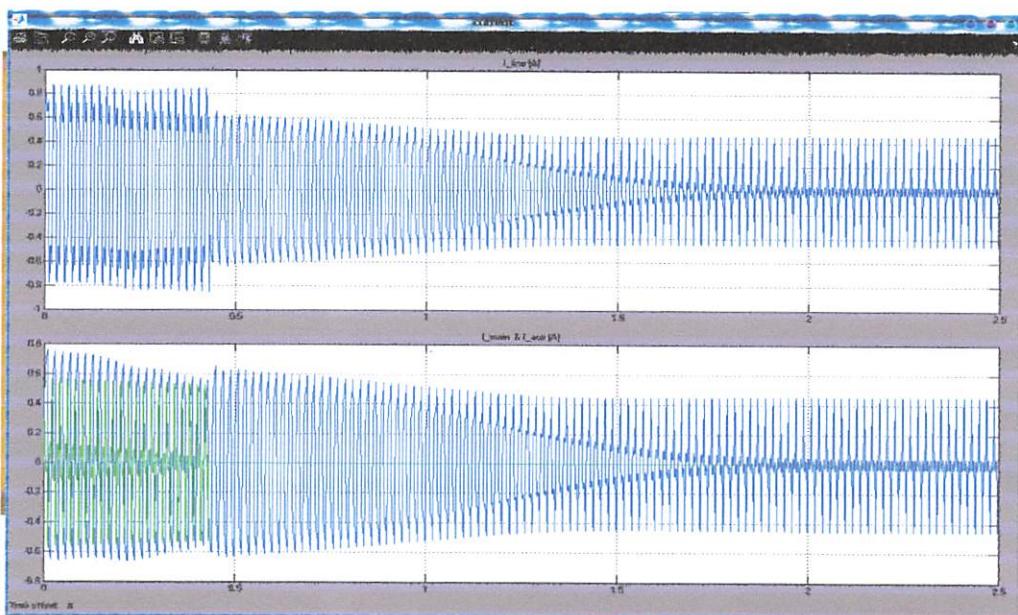
Gambar 4.15 Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada $f = 35 \text{ Hz}$



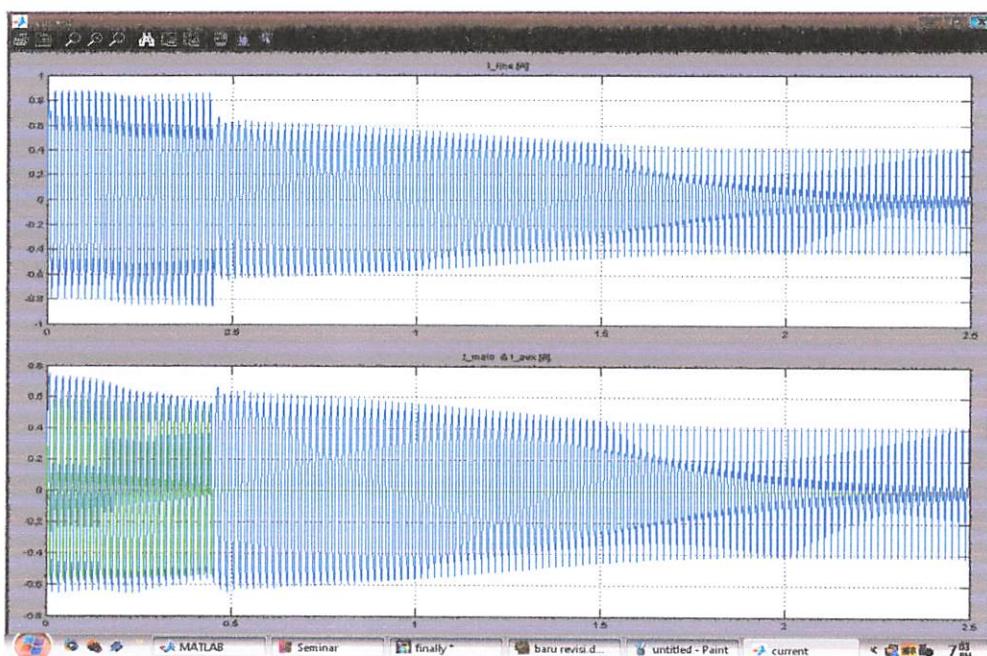
Gambar 4.16 Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada $f = 40 \text{ Hz}$



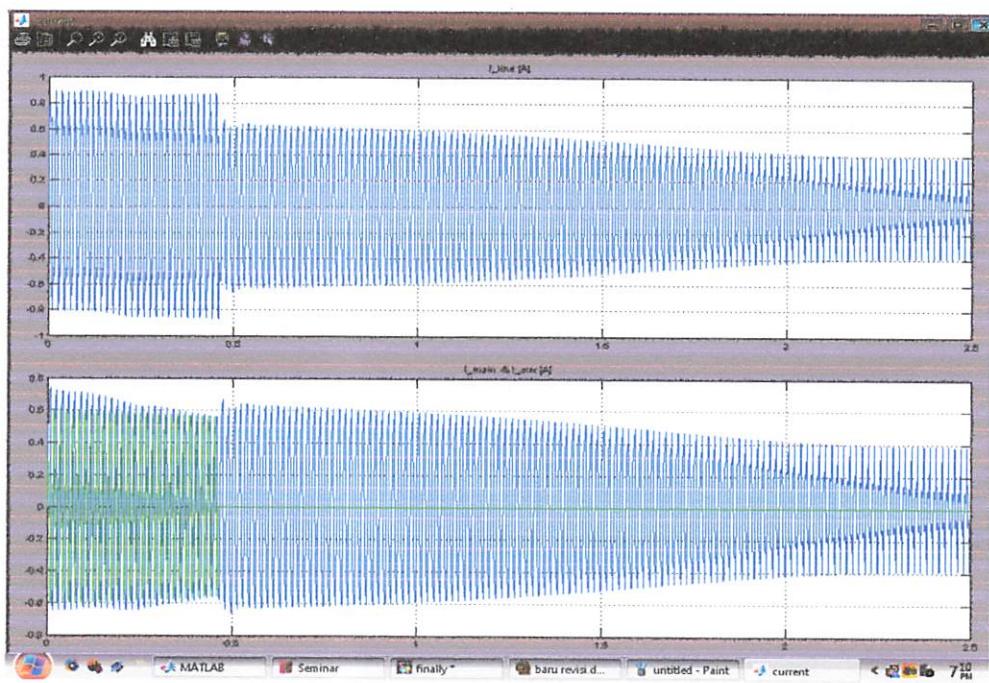
Gambar 4.17 Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada $f = 45$ Hz



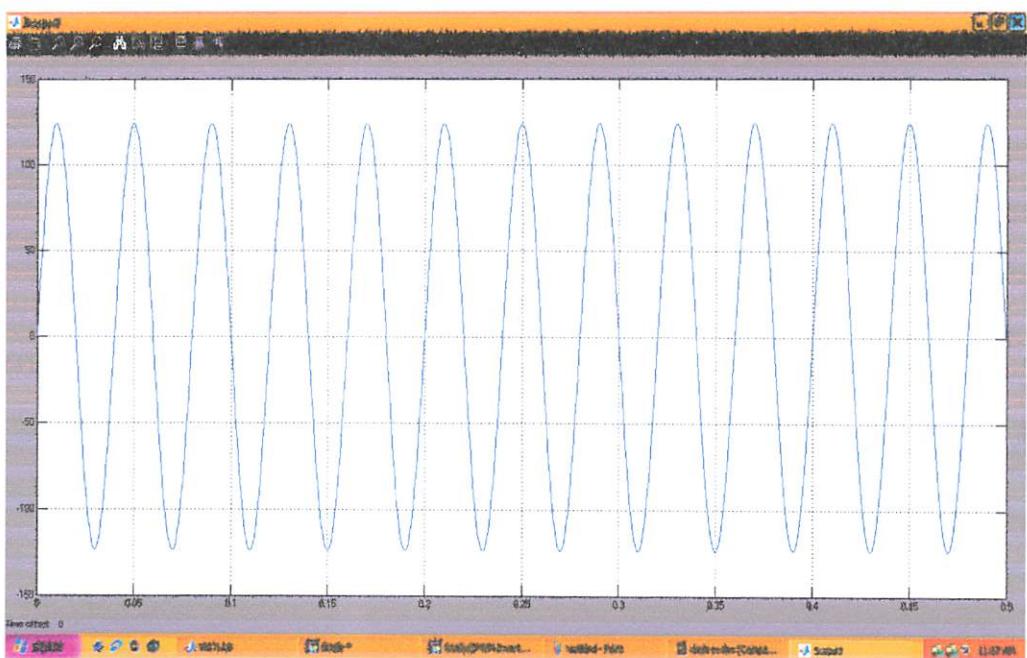
Gambar 4.18 Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada $f = 50$ Hz



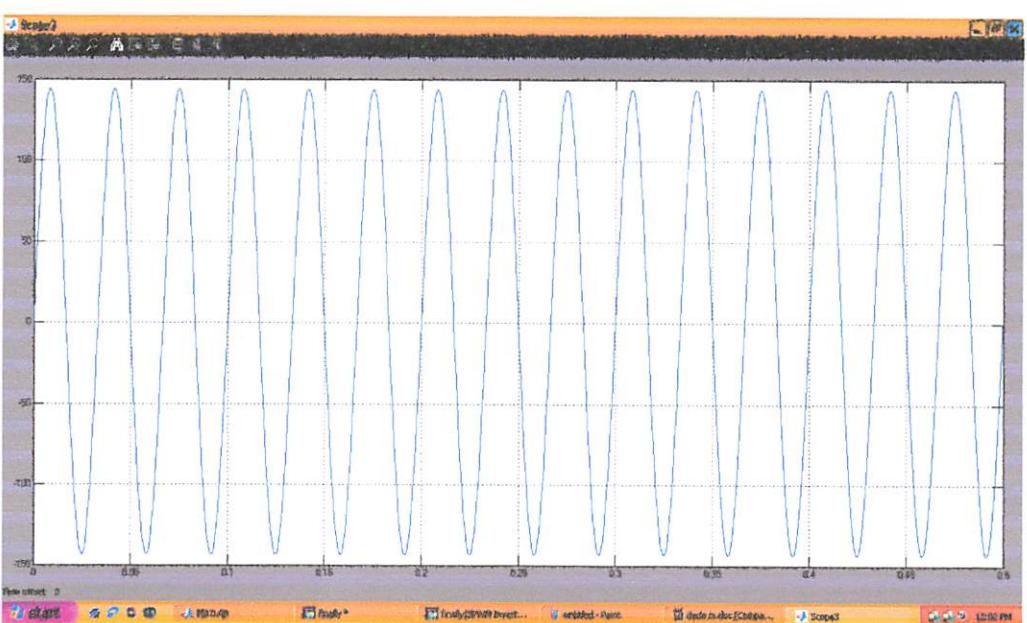
Gambar 4.19 Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada $f = 55$ Hz



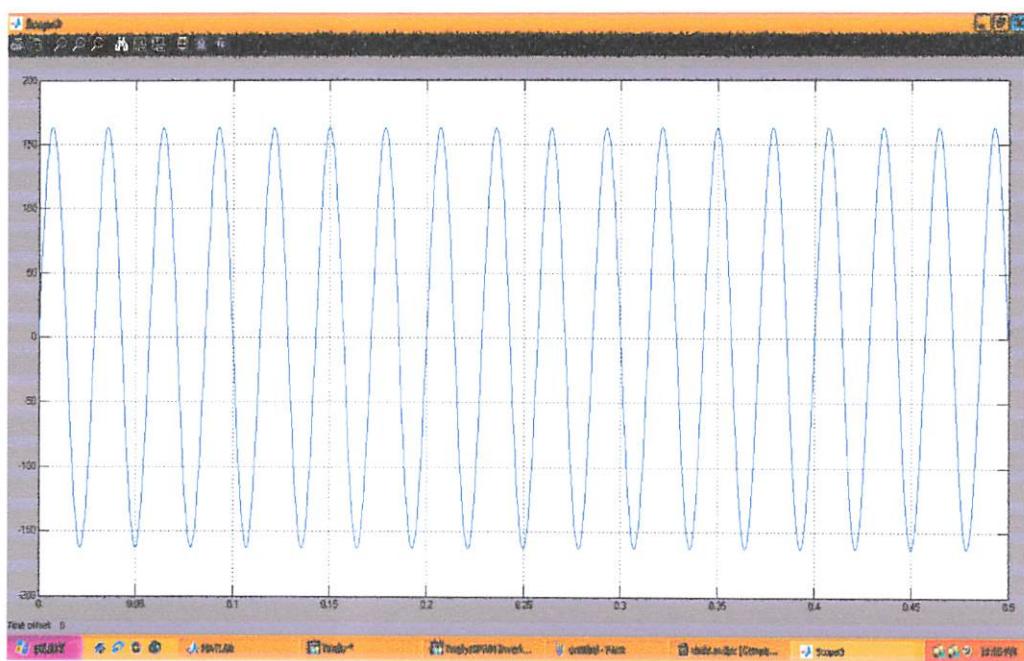
Gambar 4.20 Hasil simulasi arus motor tanpa beban pada $f = 60$ Hz



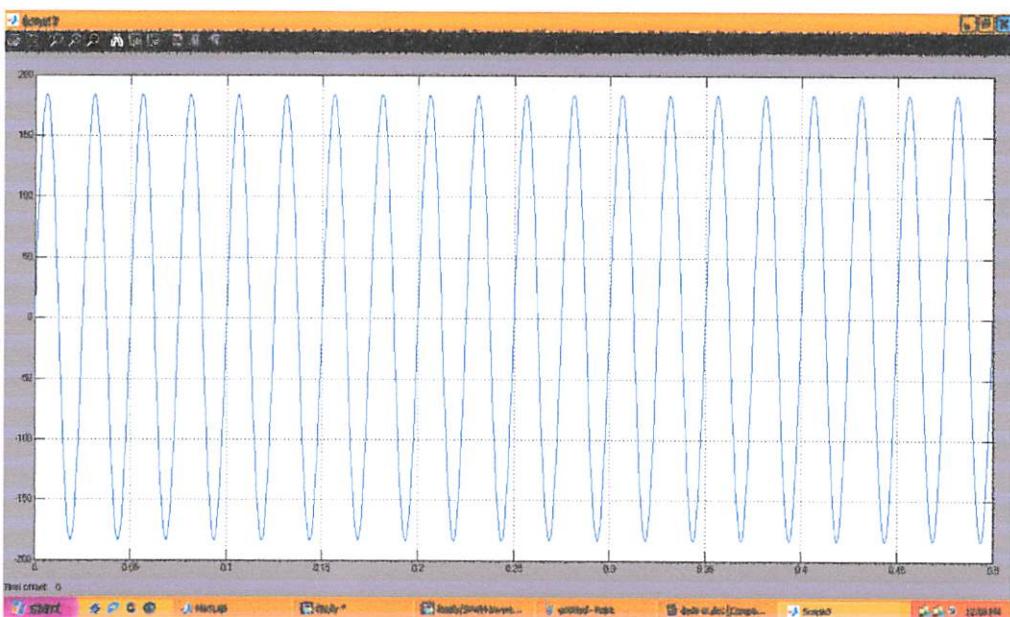
Gambar 4.21 Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada $f = 25$ Hz



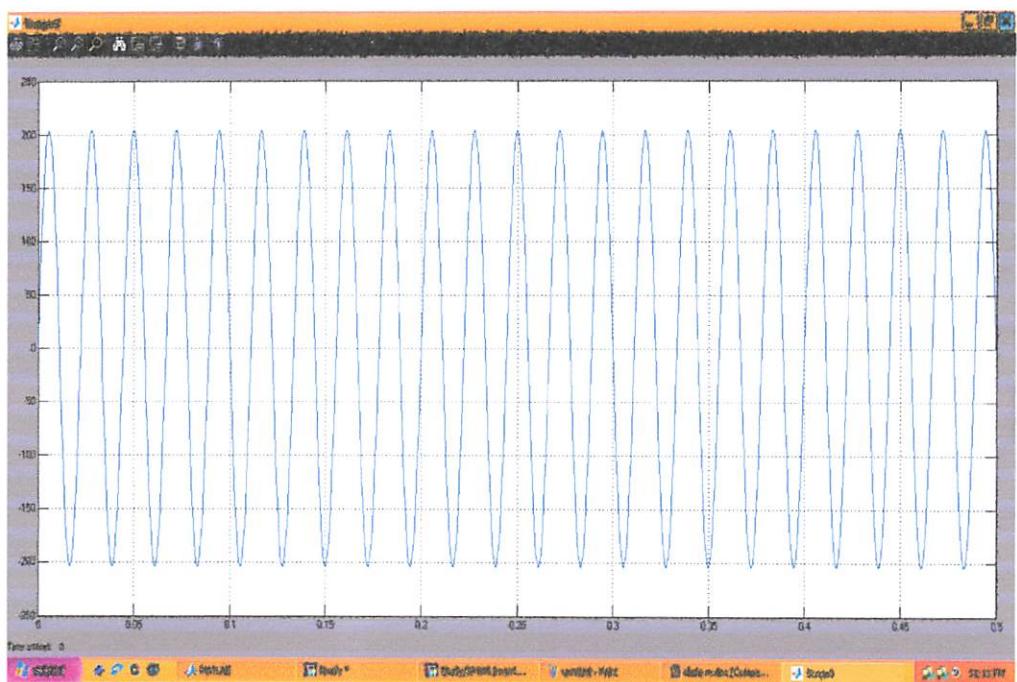
Gambar 4.22 Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada $f = 30$ Hz



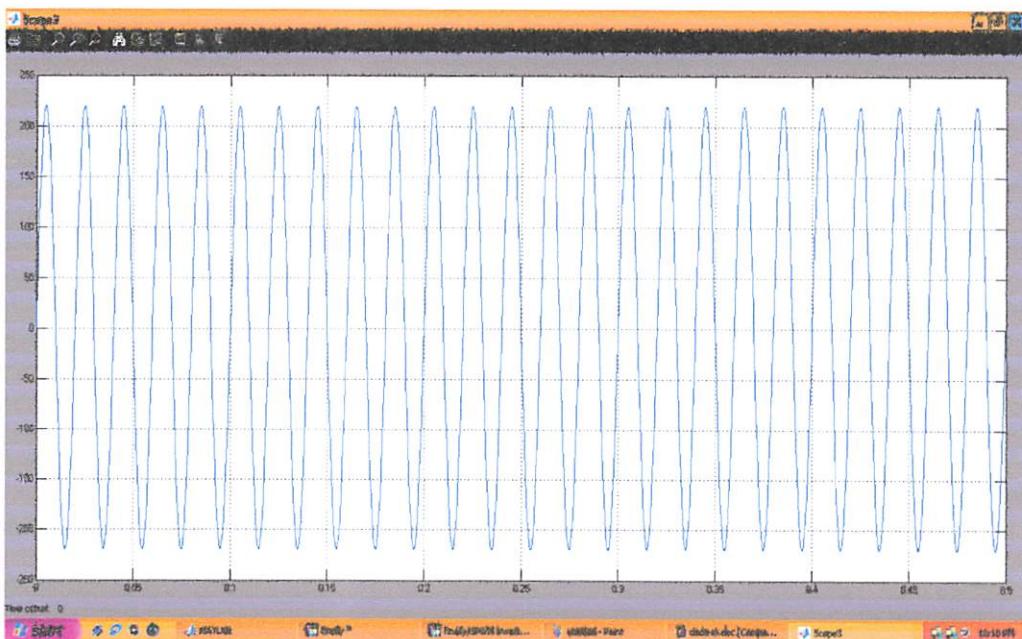
Gambar 4.23 Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada $f = 35$ Hz



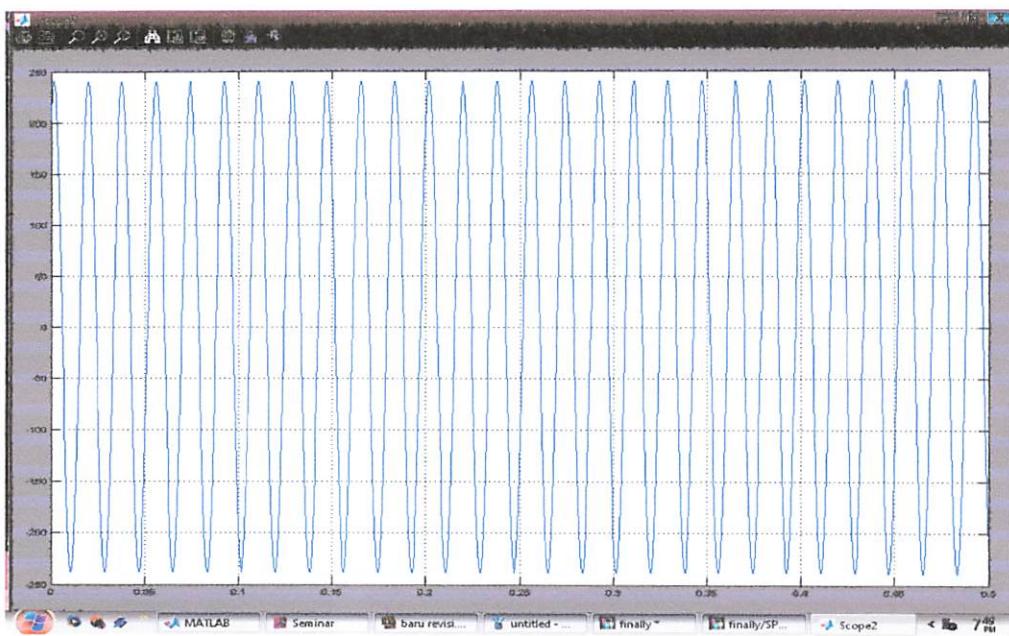
Gambar 4.24 Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada $f = 40$ Hz



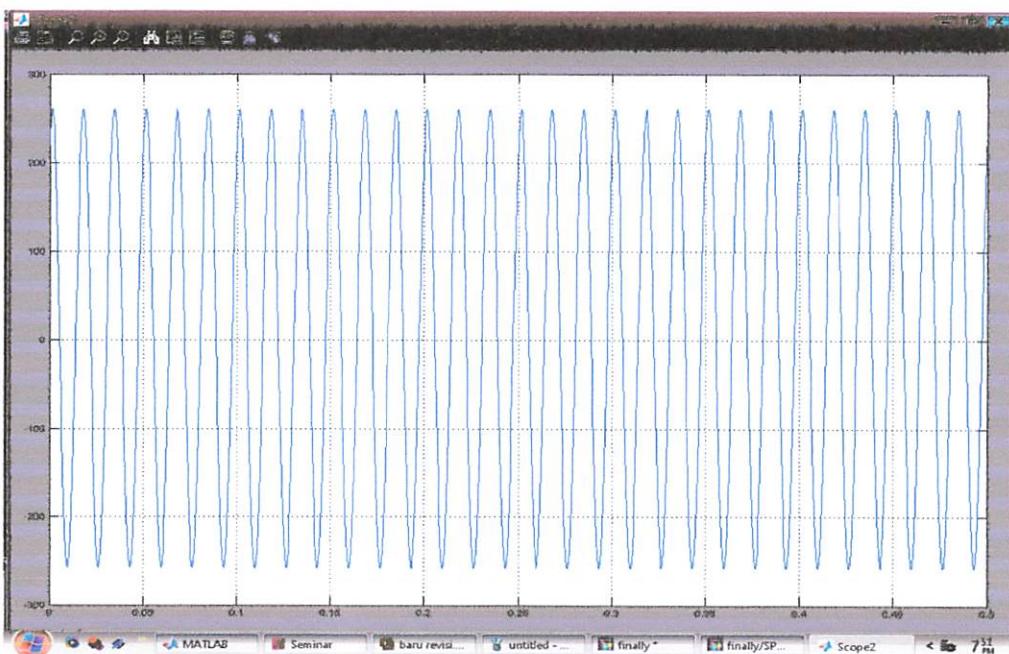
Gambar 4.25 Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada $f = 45$ Hz



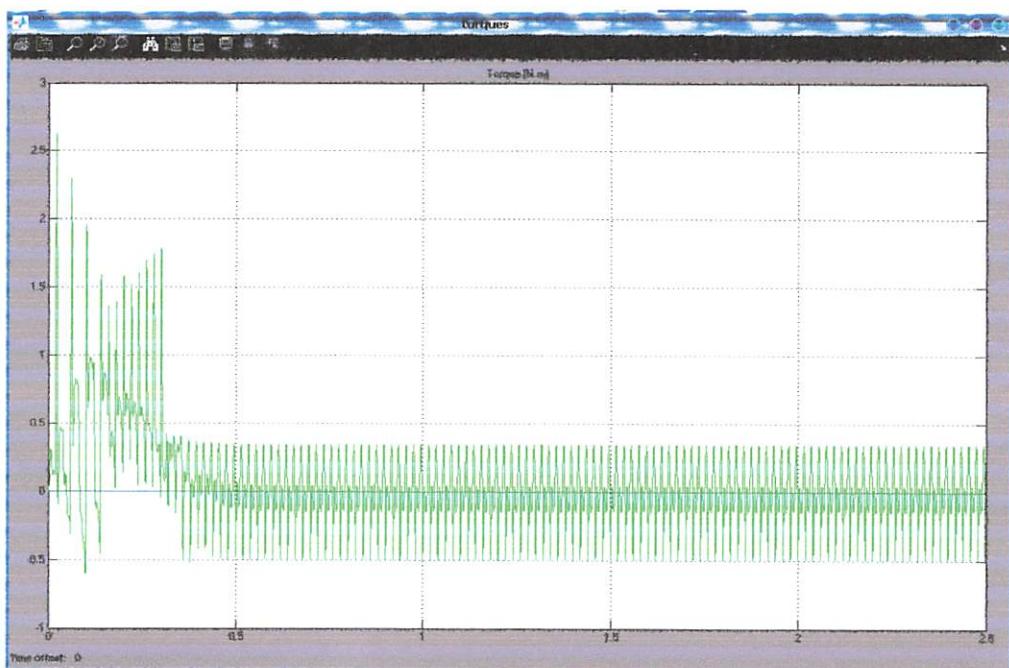
Gambar 4.26 Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada $f = 50$ Hz



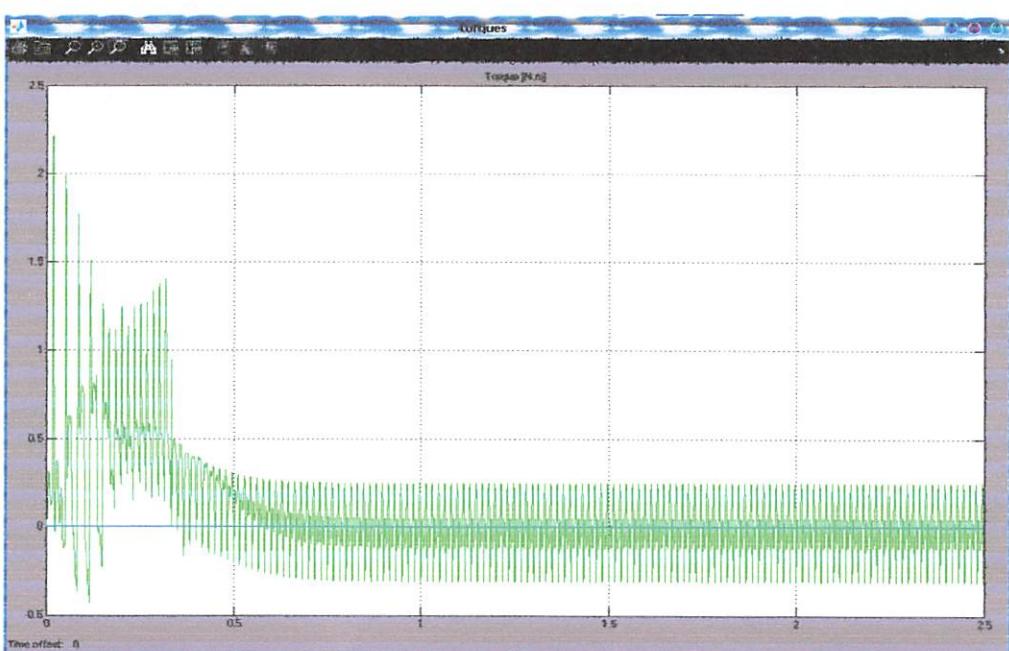
Gambar 4.27 Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada $f = 55$ Hz



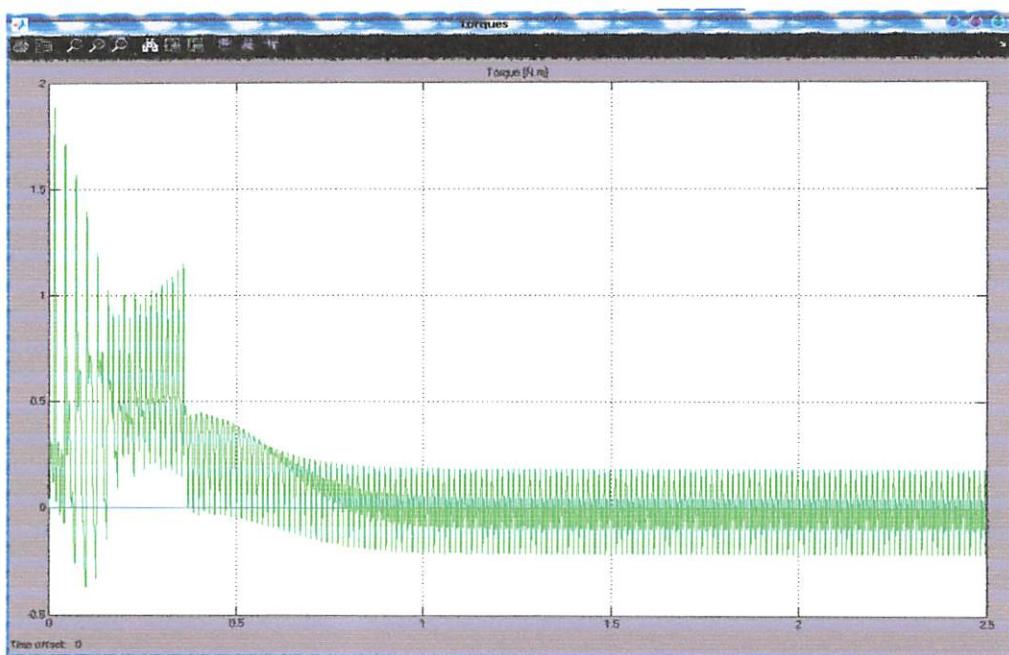
Gambar 4.28 Hasil simulasi tegangan motor tanpa beban pada $f = 60$ Hz



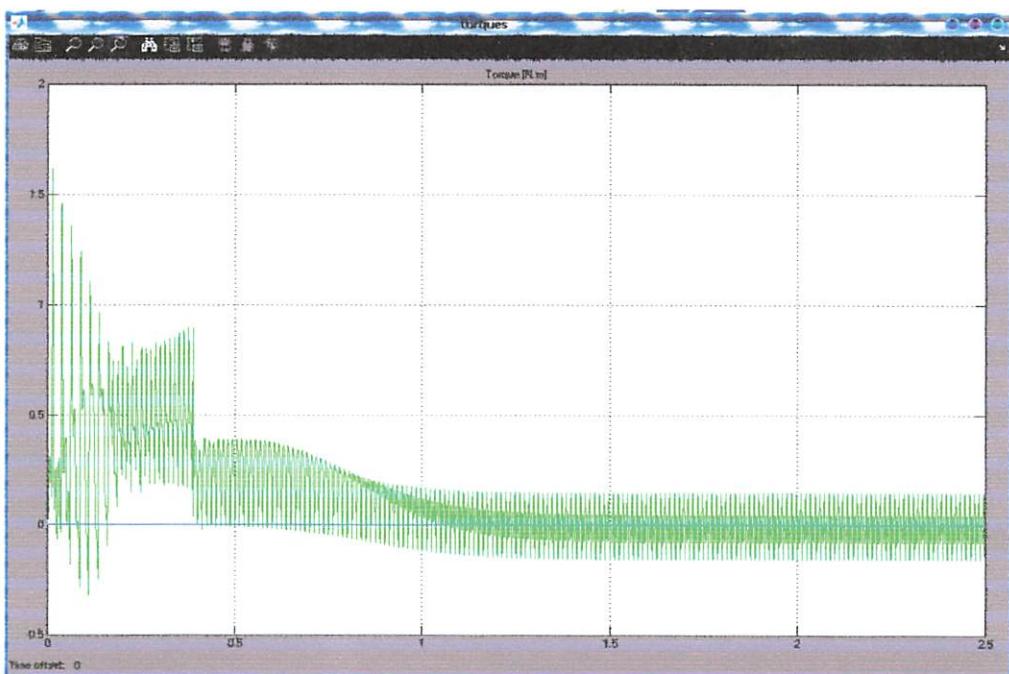
Gambar 4.29 Hasil simulasi torsi motor tanpa beban pada $f = 25$ Hz



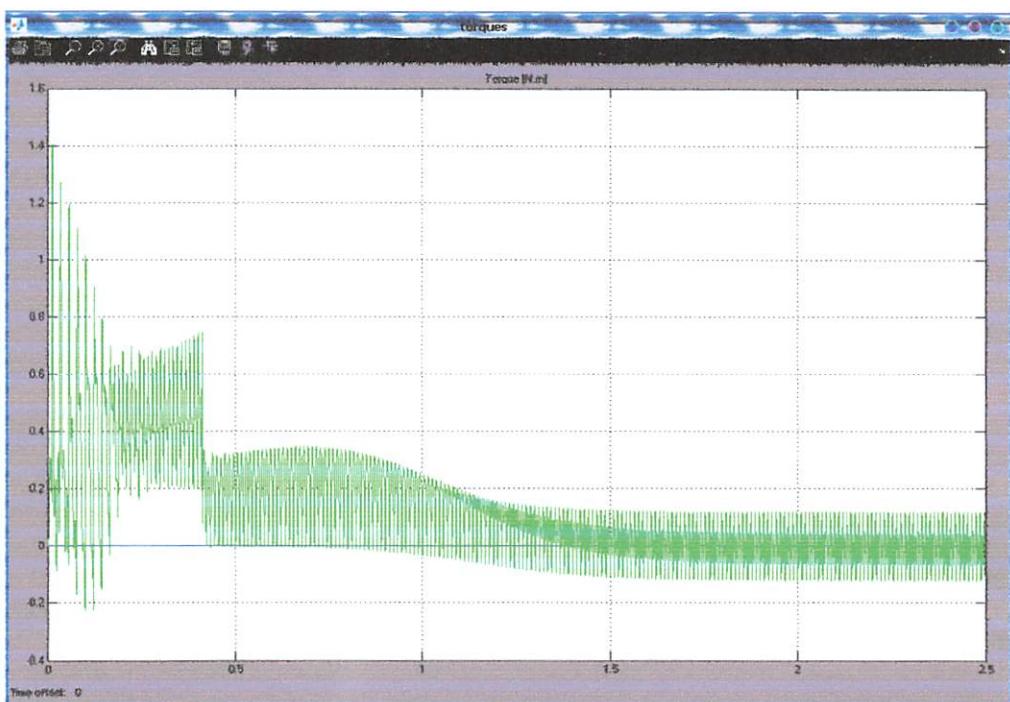
Gambar 4.30 Hasil simulasi torsi motor tanpa beban pada $f = 30$ Hz



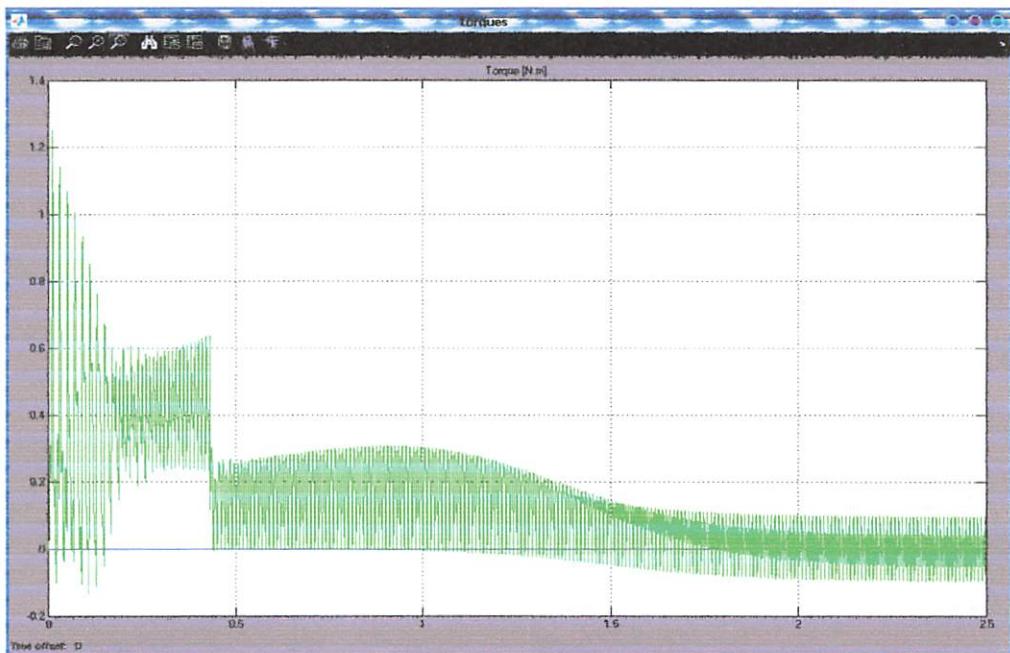
Gambar 4.31 Hasil simulasi torsi motor tanpa beban pada $f = 35$ Hz



Gambar 4.32 Hasil simulasi torsi motor tanpa beban pada $f = 40$ Hz

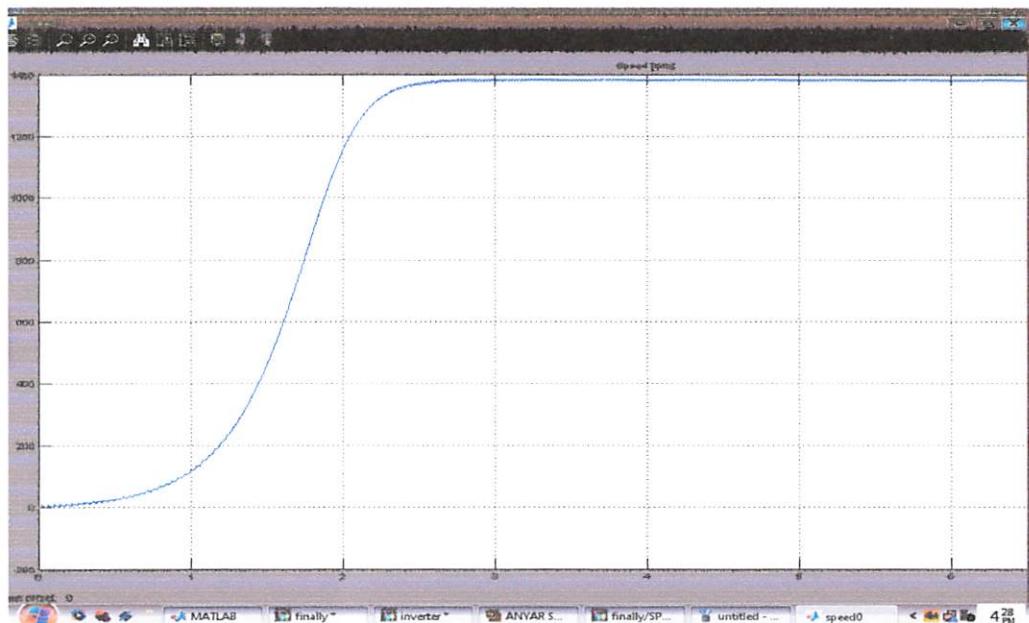


Gambar 4.33 Hasil simulasi torsi motor tanpa beban pada $f = 45$ Hz

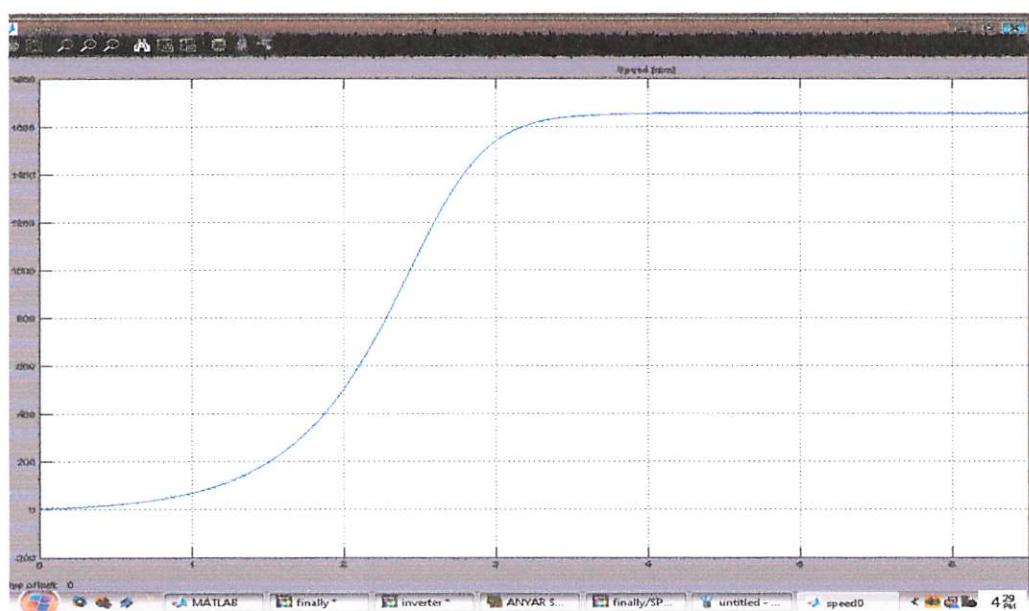


Gambar 4.34 Hasil simulasi torsi motor tanpa beban pada $f = 50$ Hz

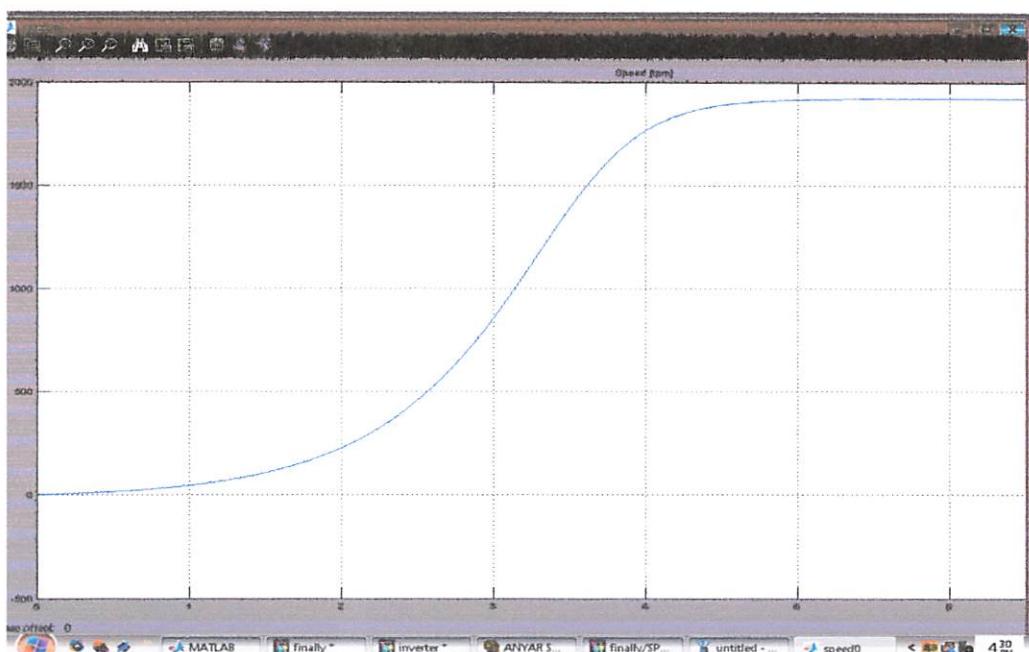
4.3.3.2 Hasil Simulasi Berbeban



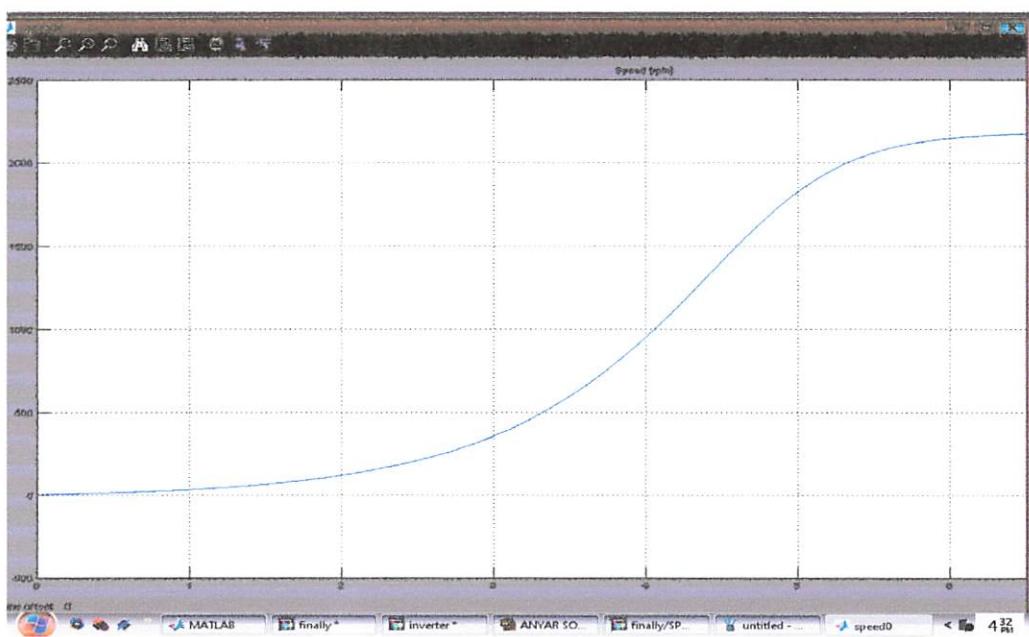
Gambar 4.37 Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 25$ Hz



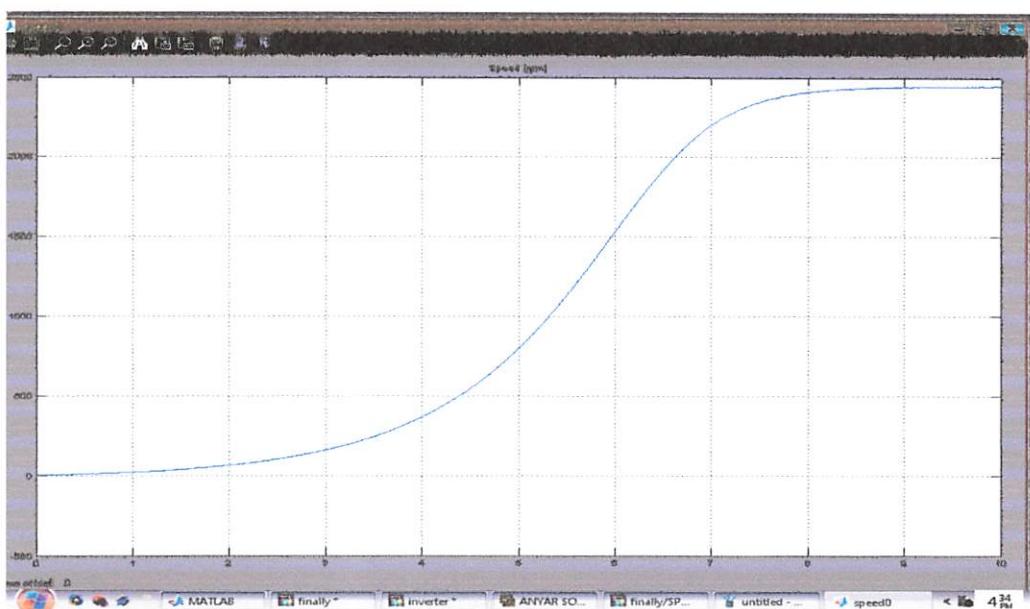
Gambar 4.38 Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 30$ Hz



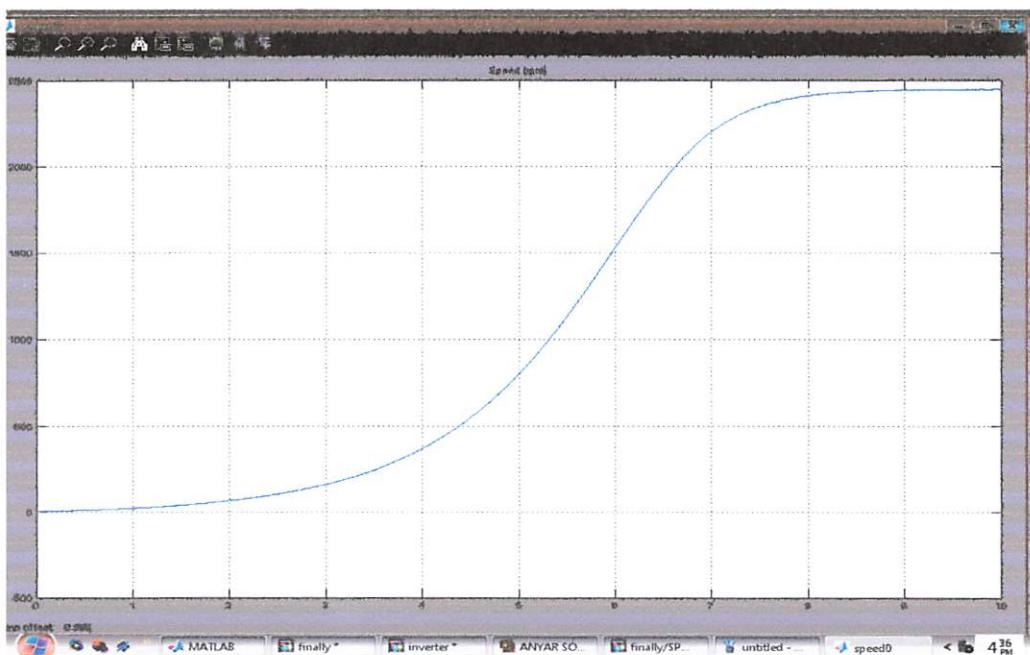
Gambar 4.39 Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 35$ Hz



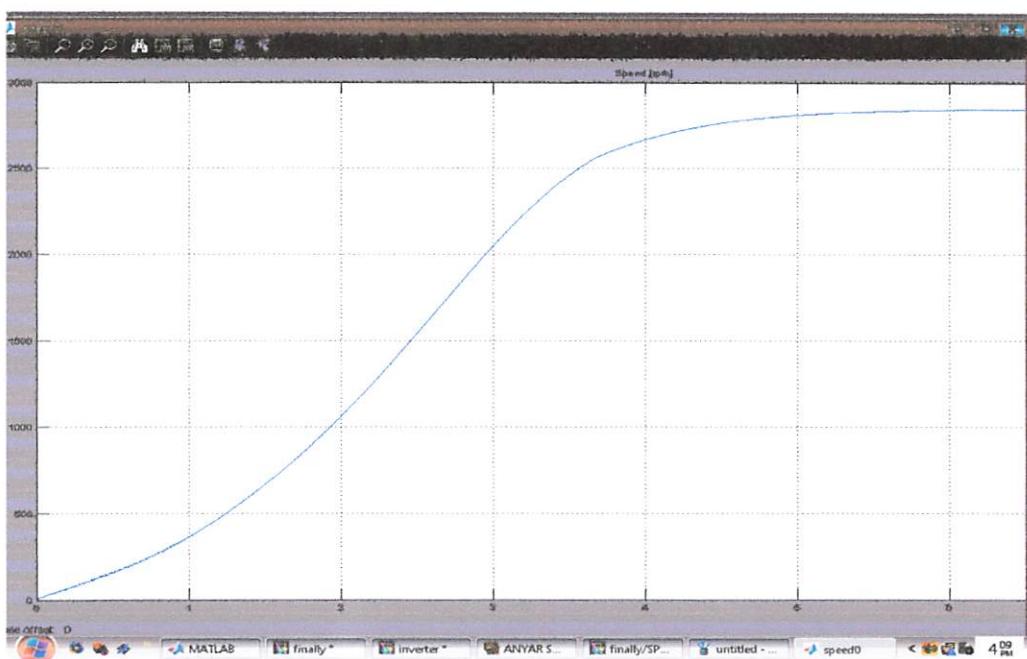
Gambar 4.40 Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 40$ Hz



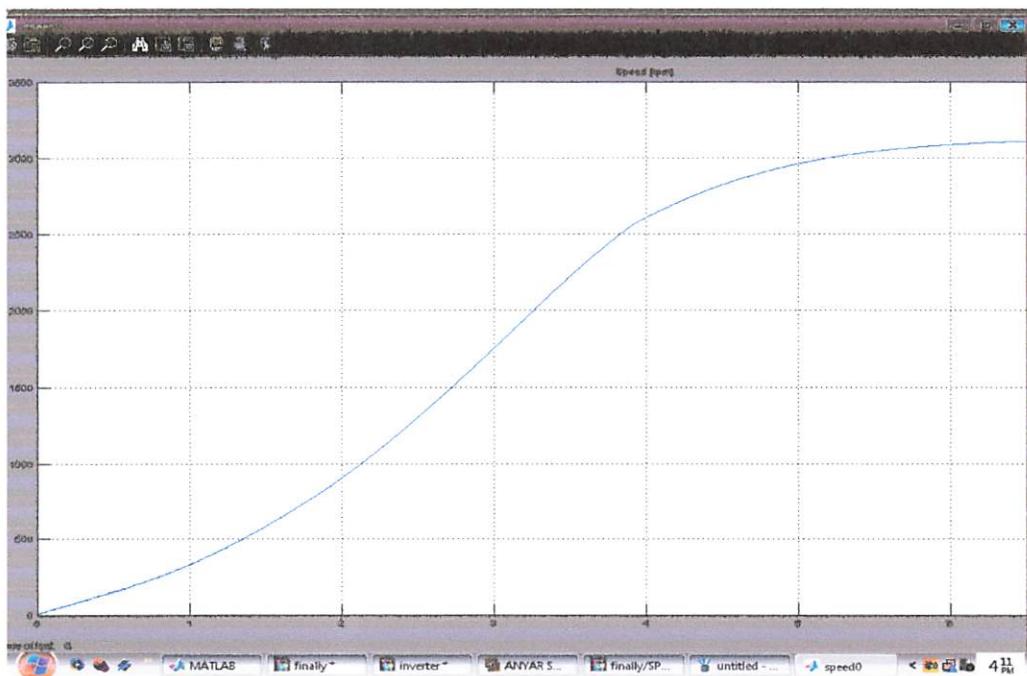
Gambar 4.41 Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 45 \text{ Hz}$



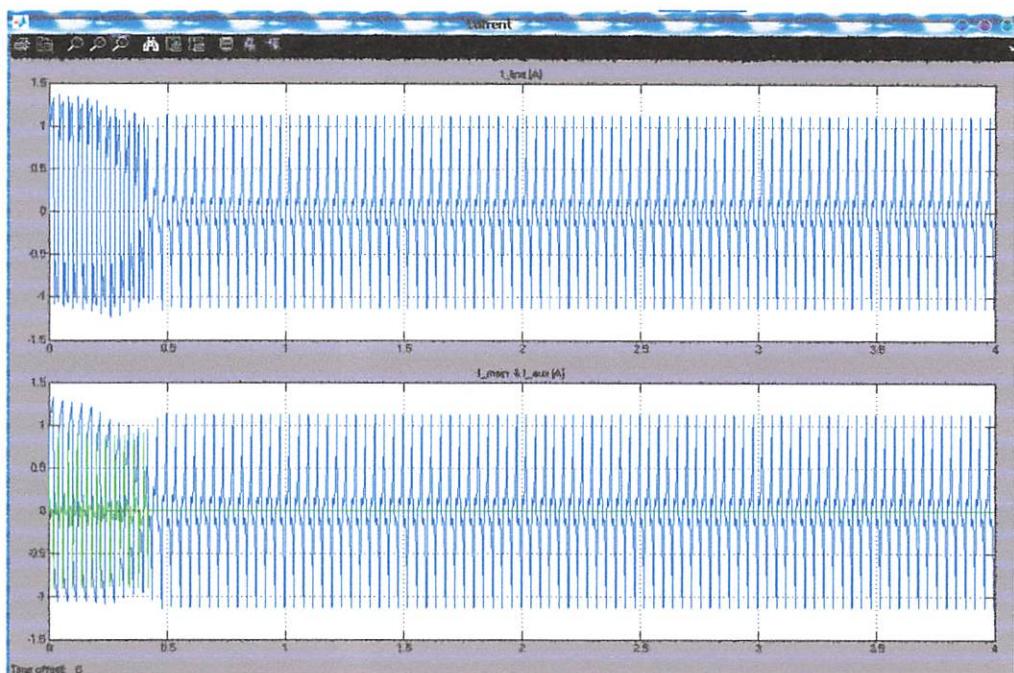
Gambar 4.42 Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 50 \text{ Hz}$



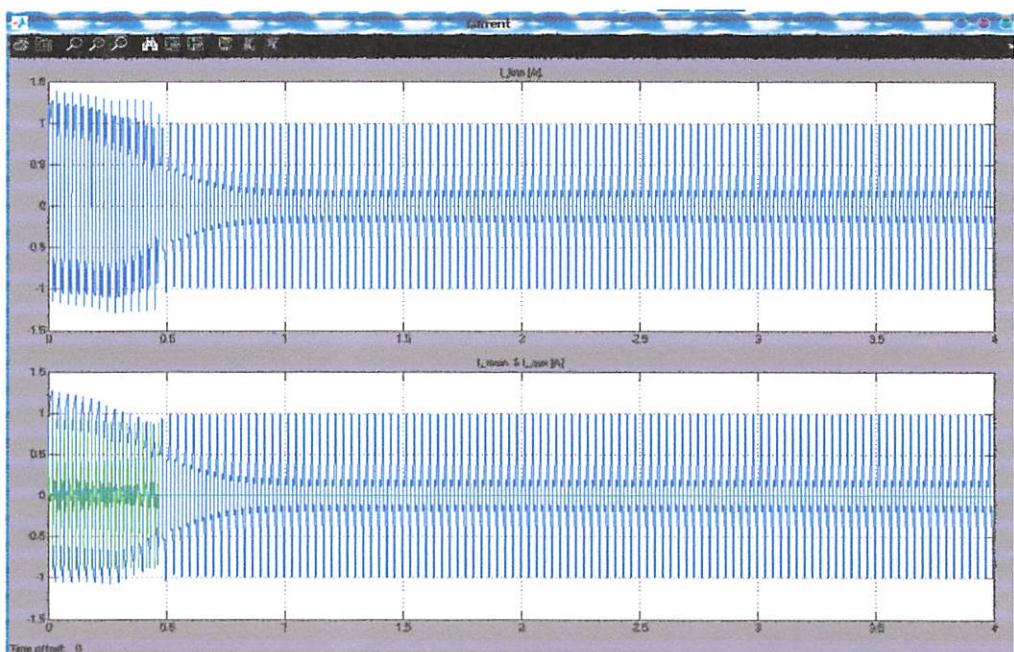
Gambar 4.43 Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 55$ Hz



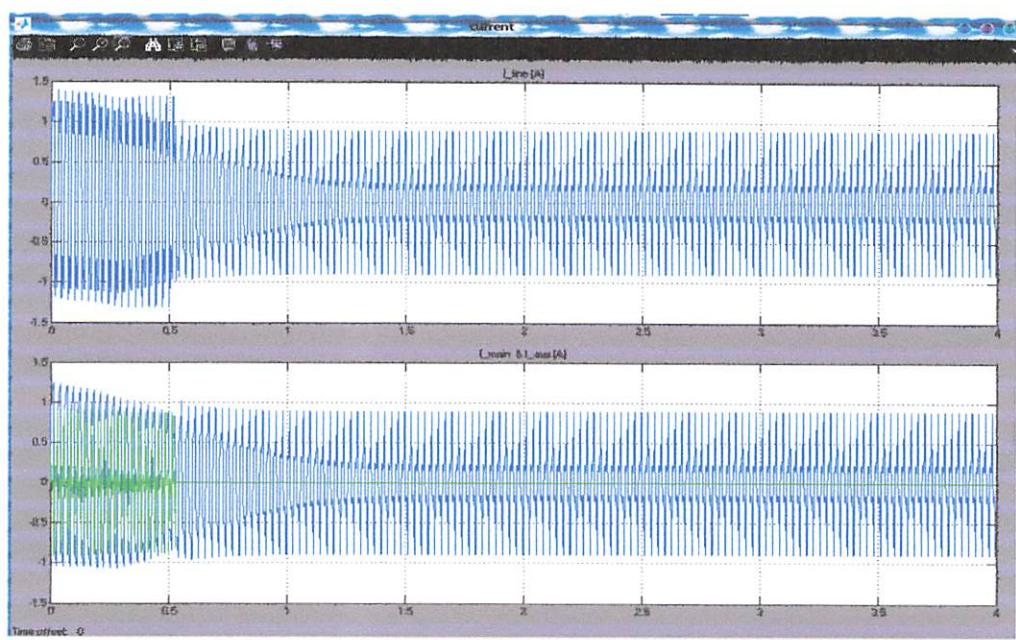
Gambar 4.44 Hasil simulasi kecepatan motor berbeban pada $f = 60$ Hz



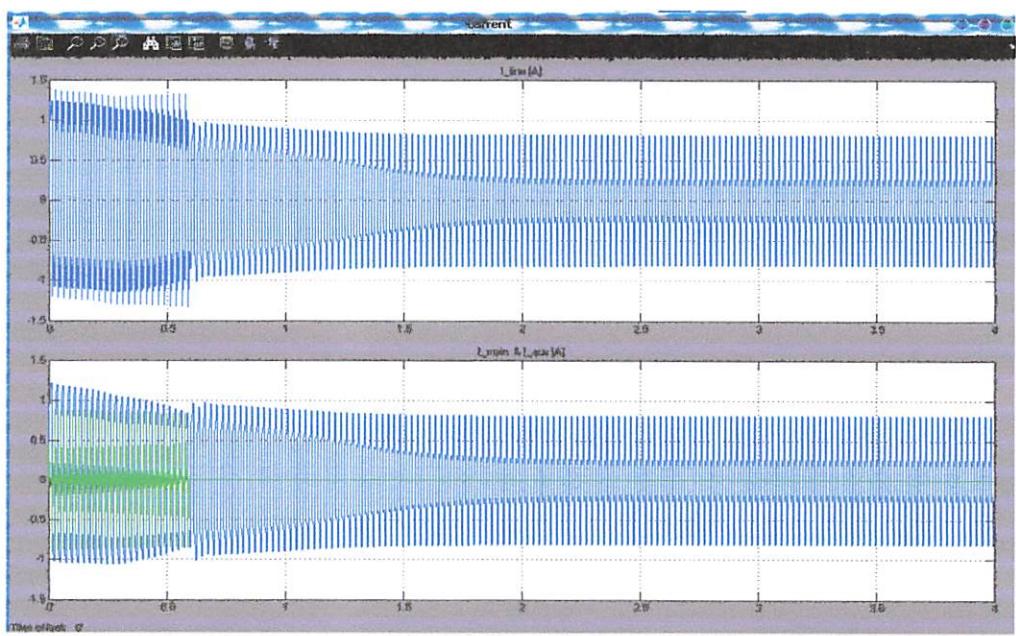
Gambar 4.45 Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 25$ Hz



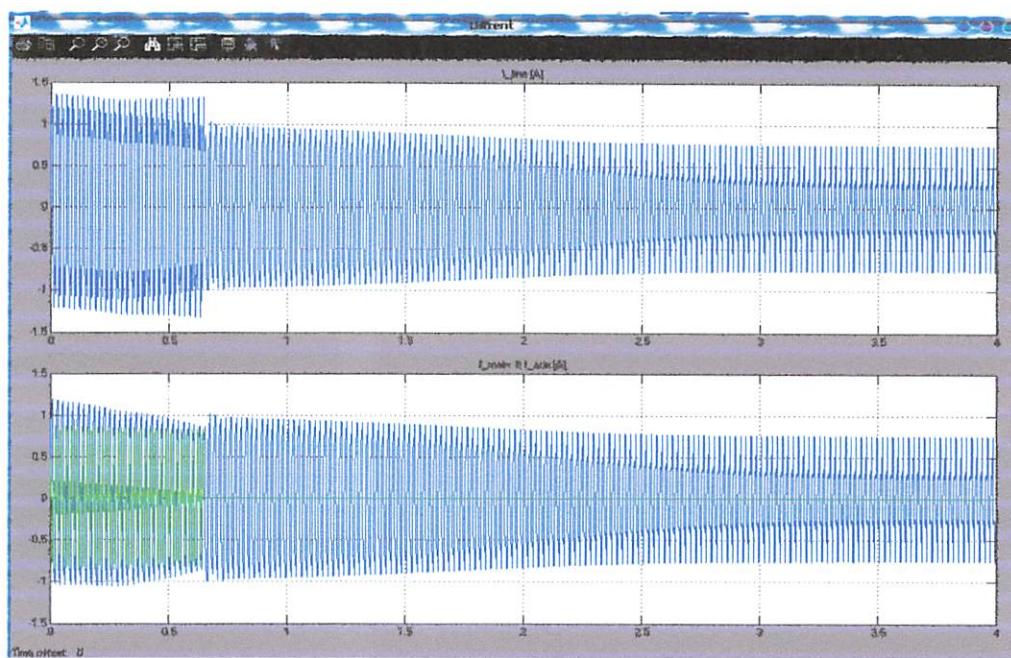
Gambar 4.46 Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 30$ Hz



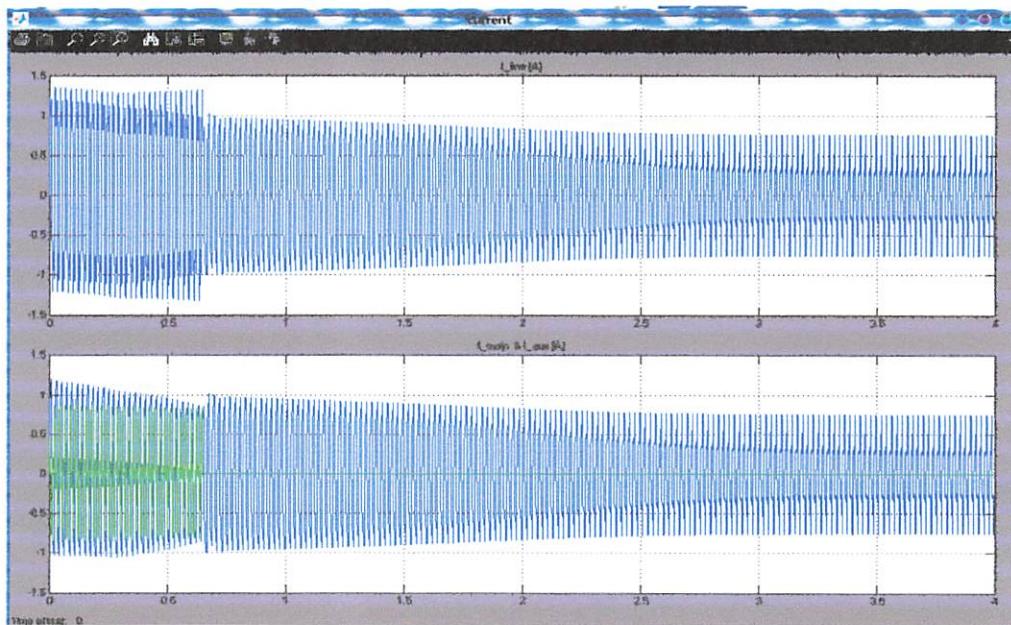
Gambar 4.47 Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 35$ Hz



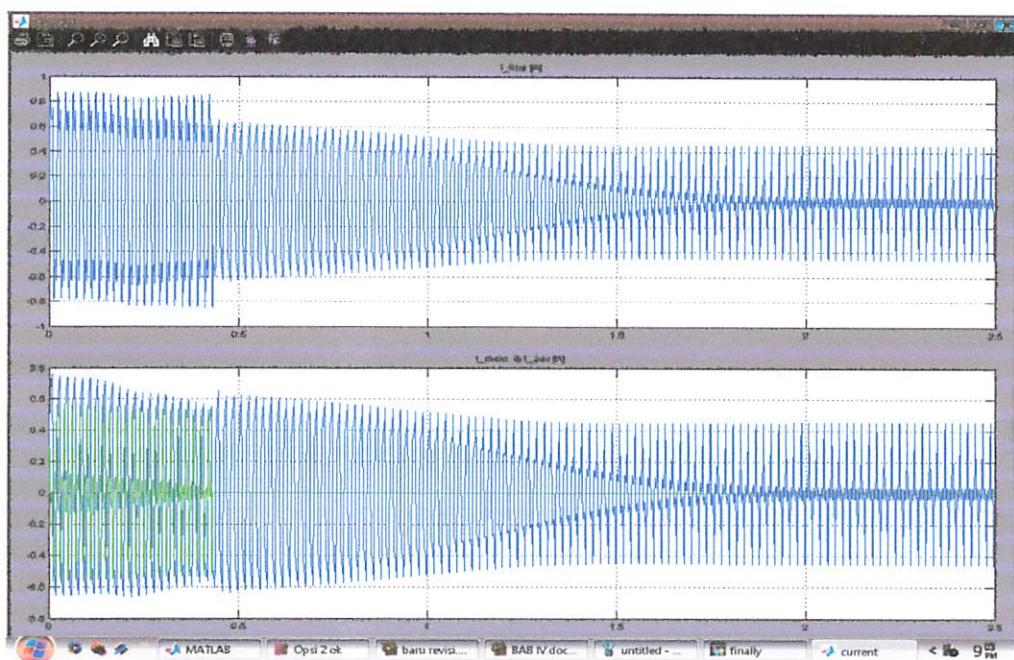
Gambar 4.48 Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 40$ Hz



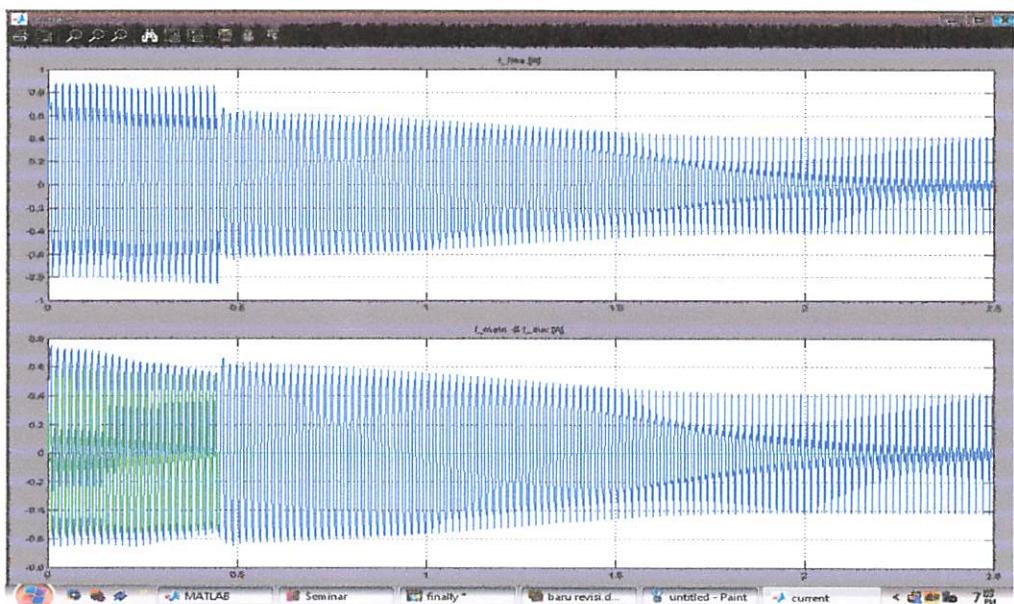
Gambar 4.49 Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 45$ Hz



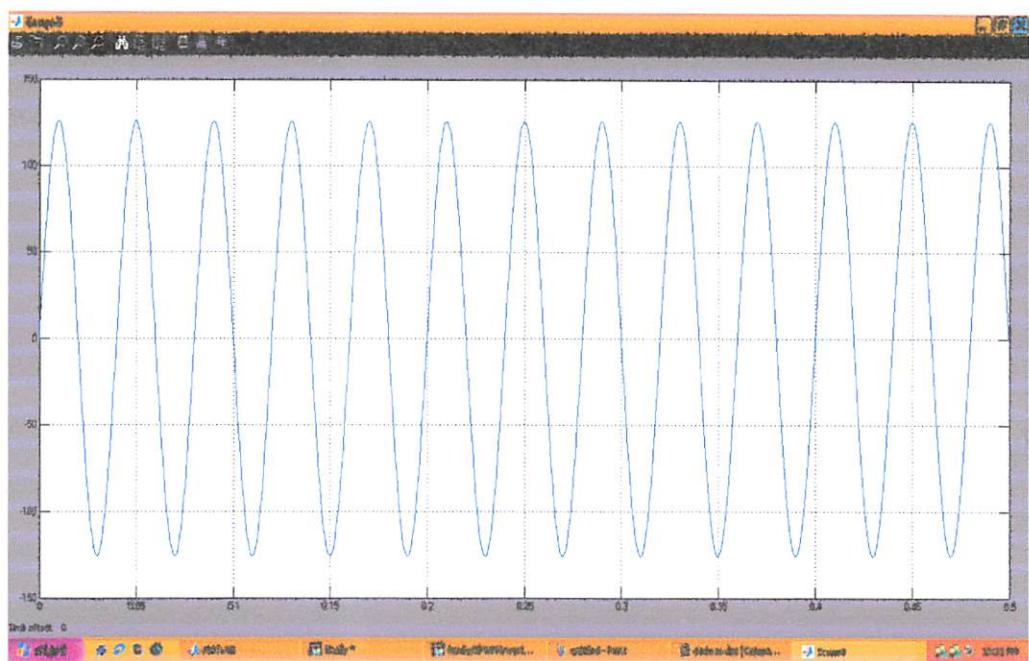
Gambar 4.50 Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 50$ Hz



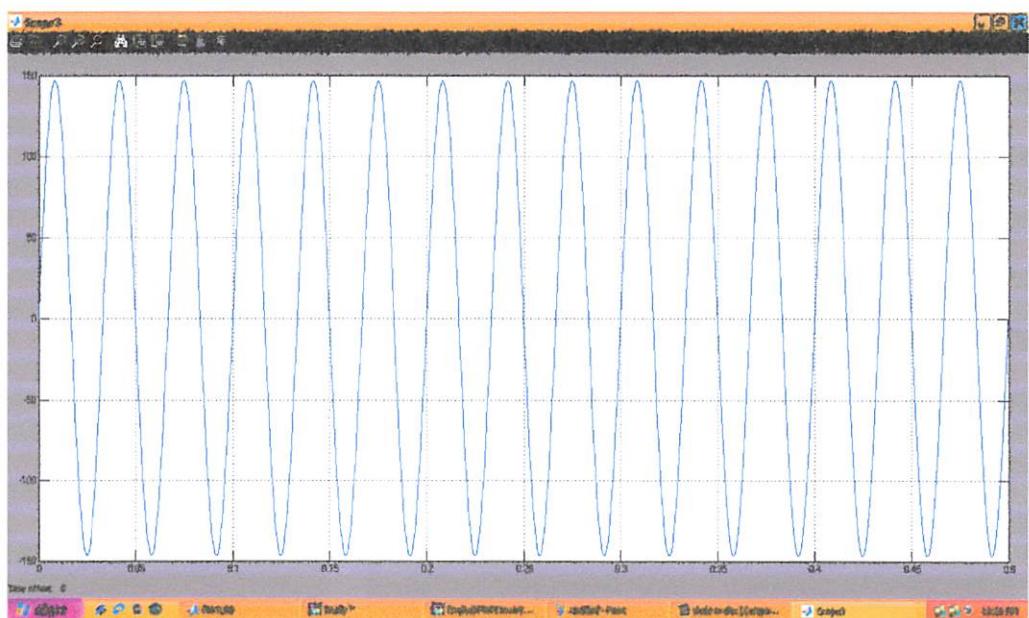
Gambar 4.51 Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 55 \text{ Hz}$



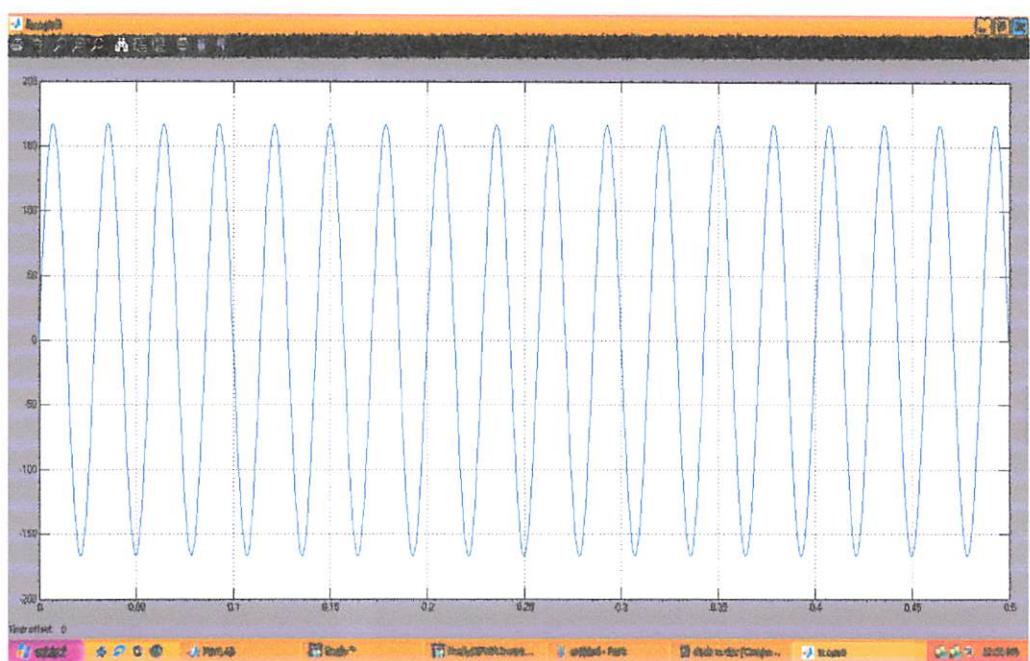
Gambar 4.52 Hasil simulasi arus motor berbeban pada $f = 60 \text{ Hz}$



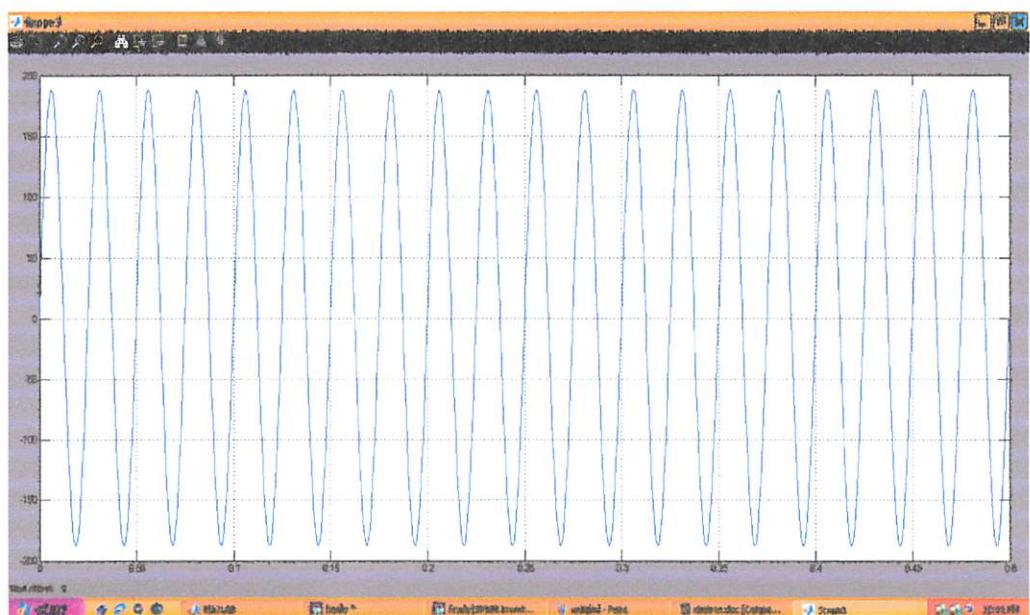
Gambar 4.53 Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 25$ Hz



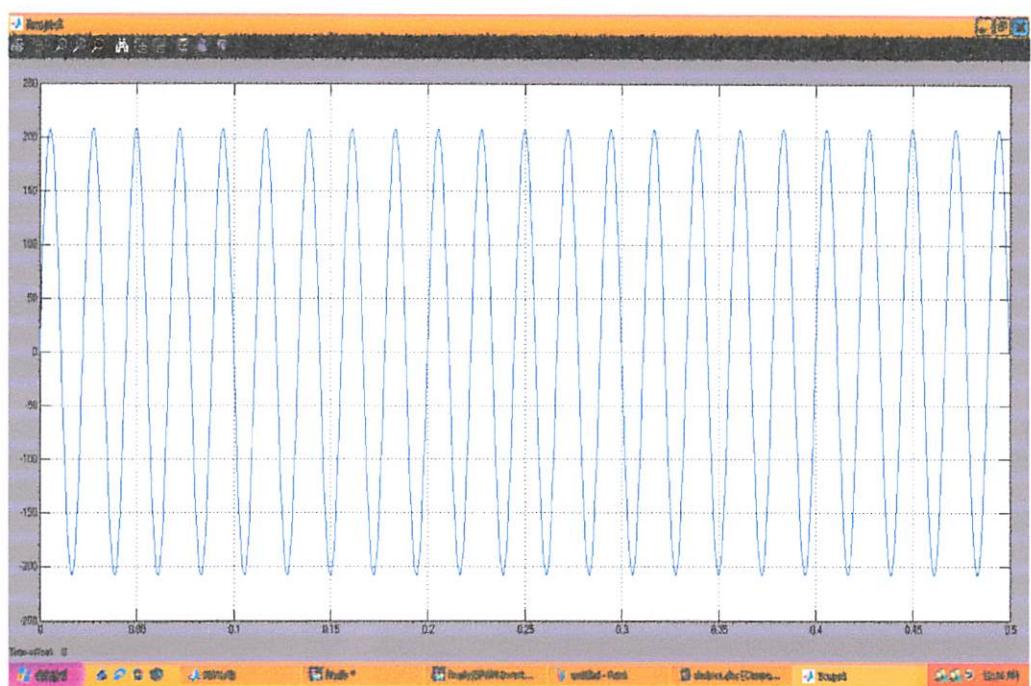
Gambar 4.54 Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 30$ Hz



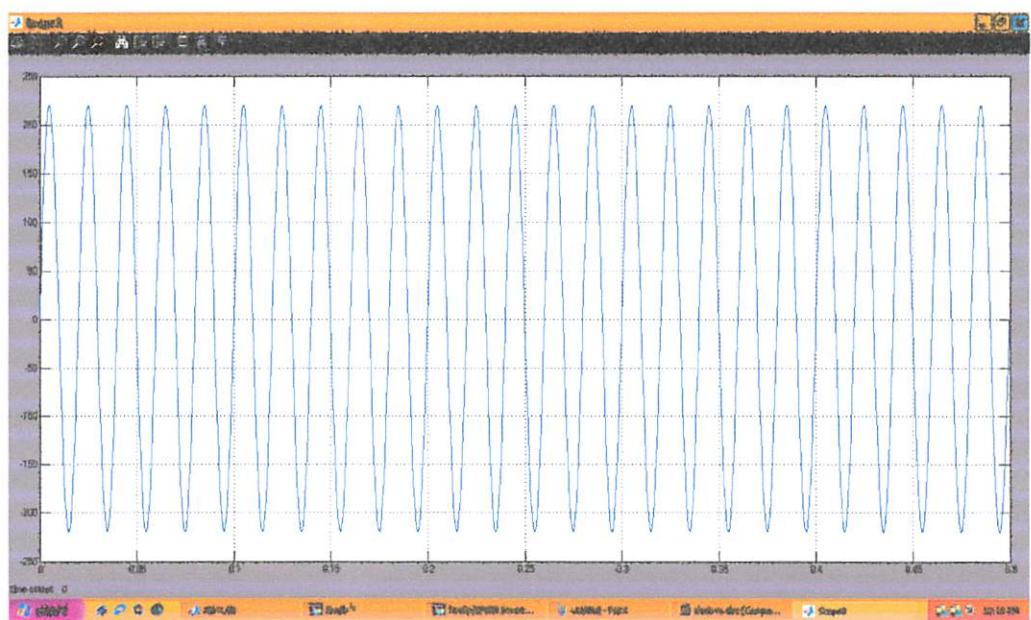
Gambar 4.55 Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 35$ Hz



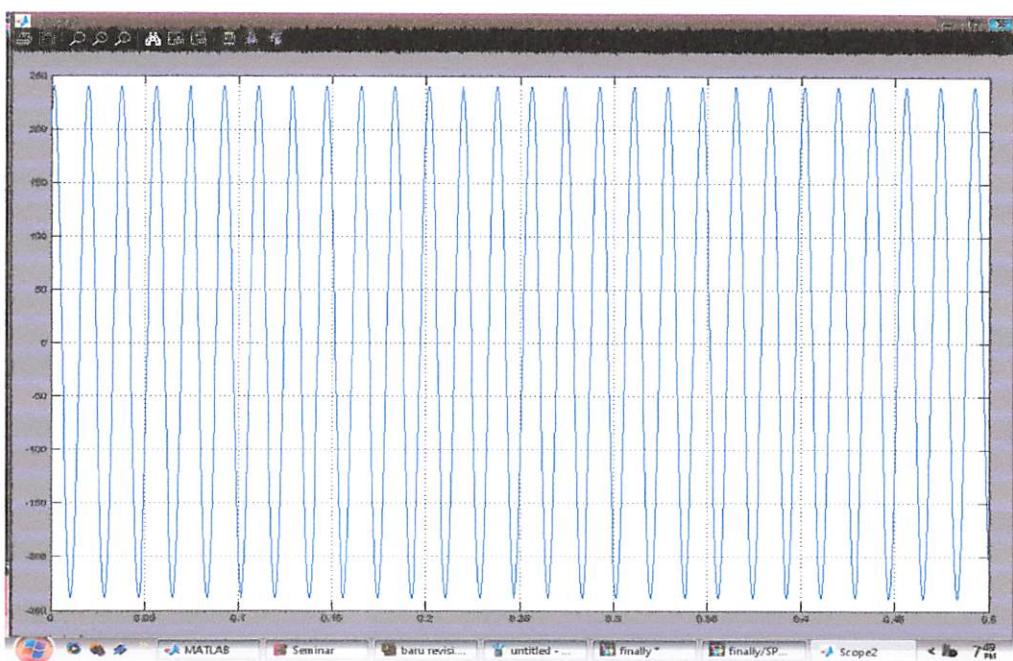
Gambar 4.56 Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 40$ Hz



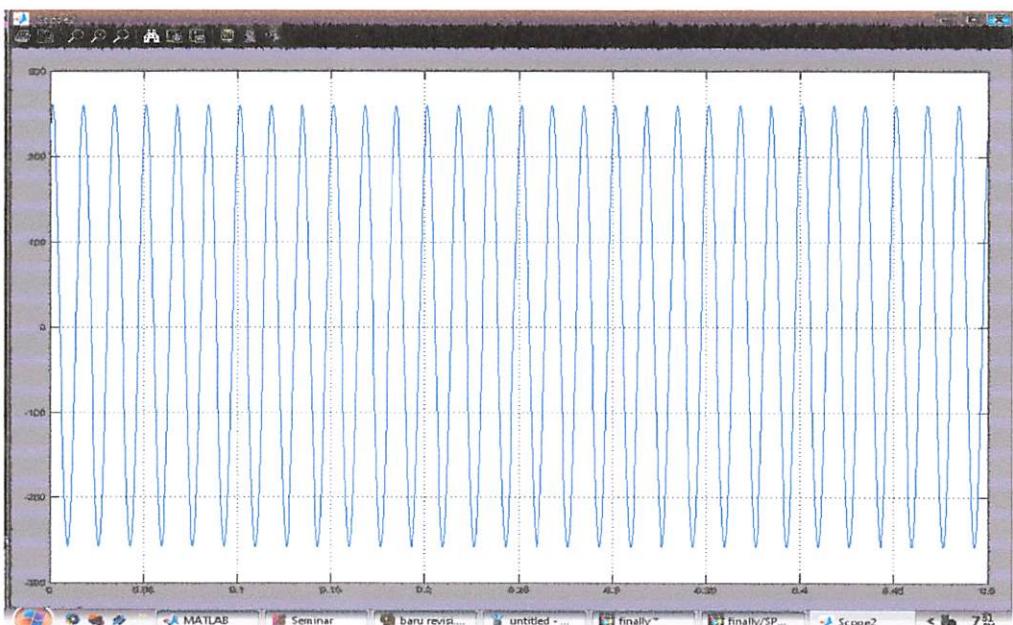
Gambar 4.57 Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 45 \text{ Hz}$



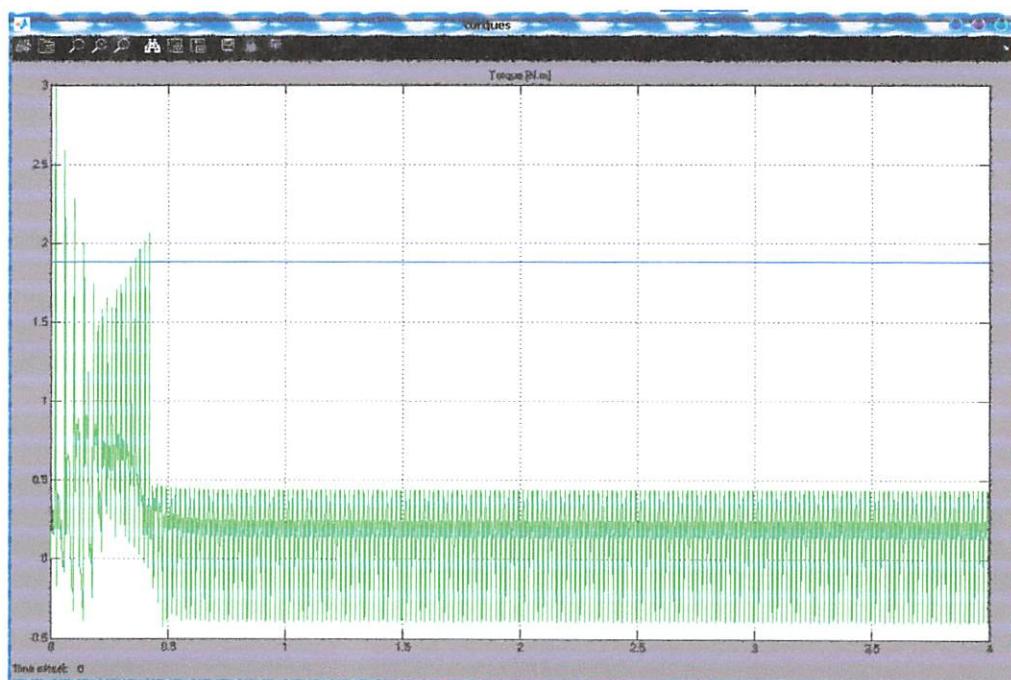
Gambar 4.58 Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 50 \text{ Hz}$



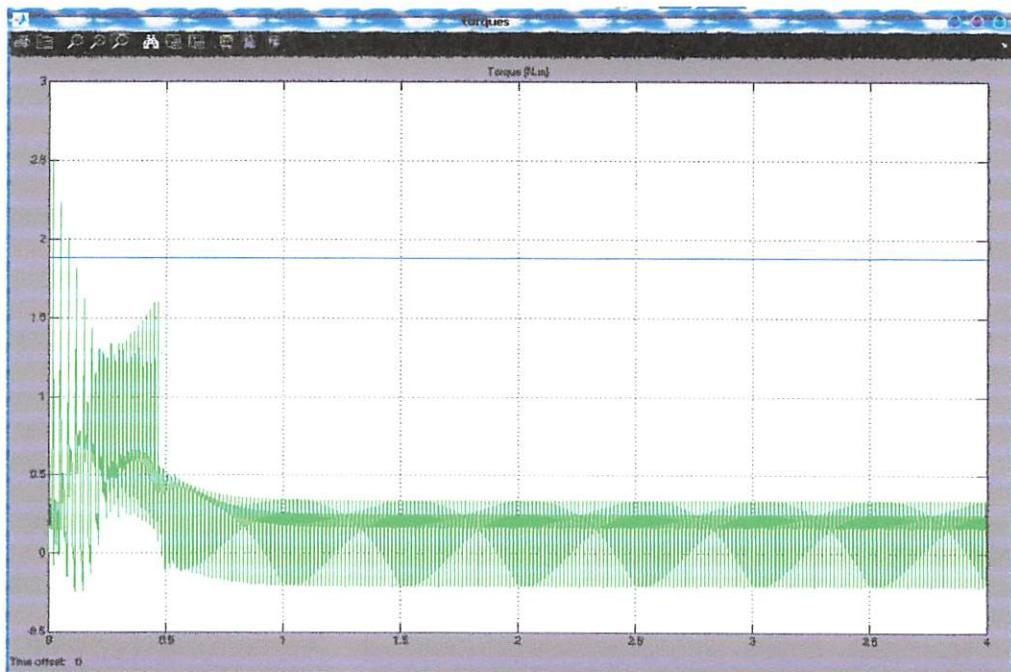
Gambar 4.59 Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 55$ Hz



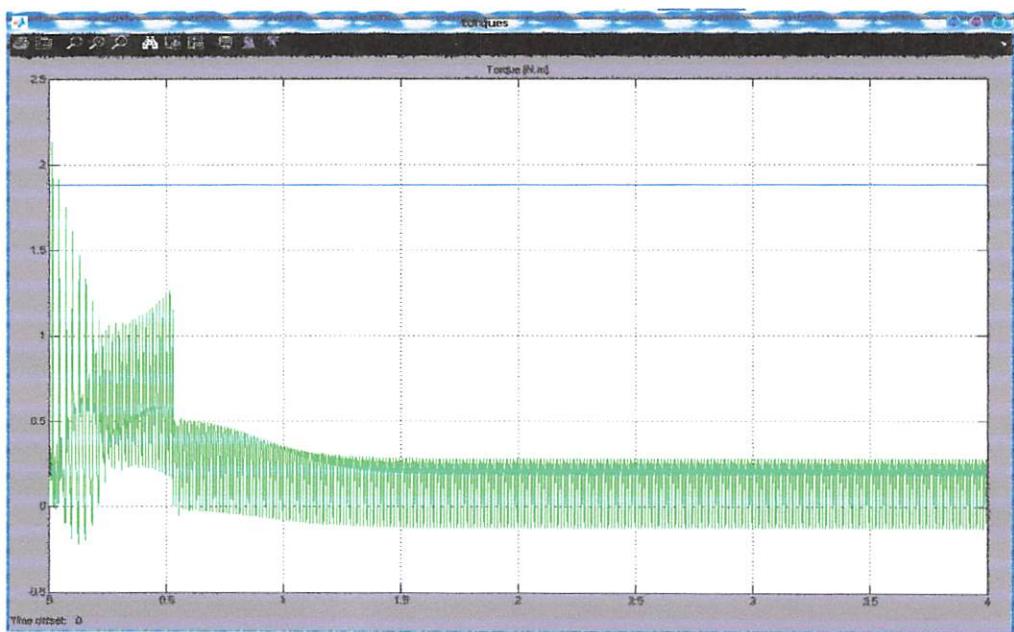
Gambar 4.60 Hasil simulasi tegangan motor berbeban pada $f = 60$ Hz



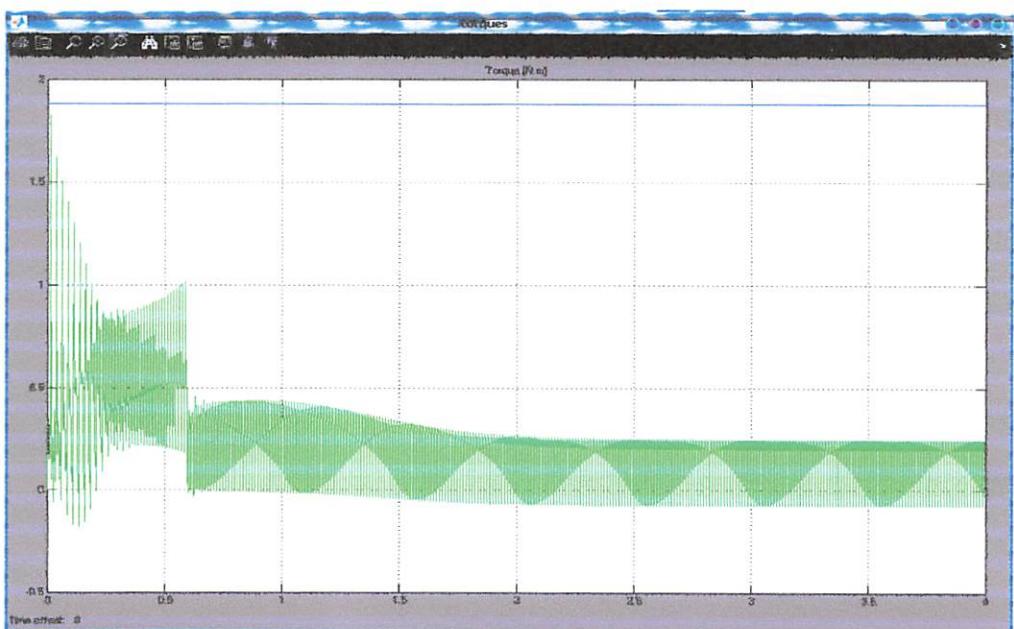
Gambar 4.61 Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 25$ Hz



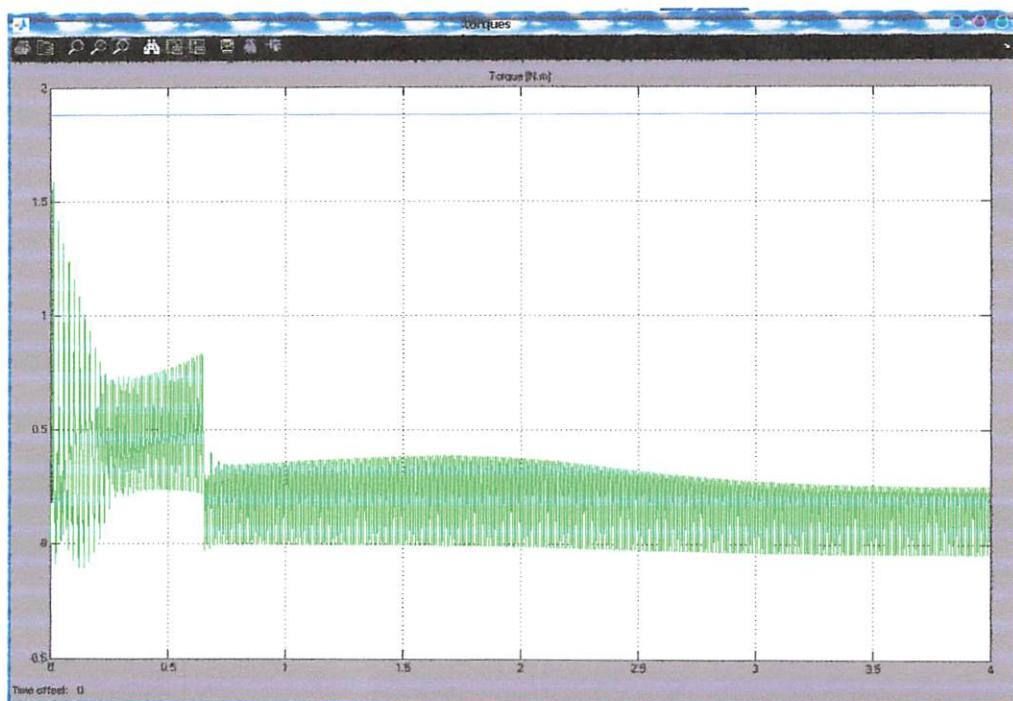
Gambar 4.62 Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 30$ Hz



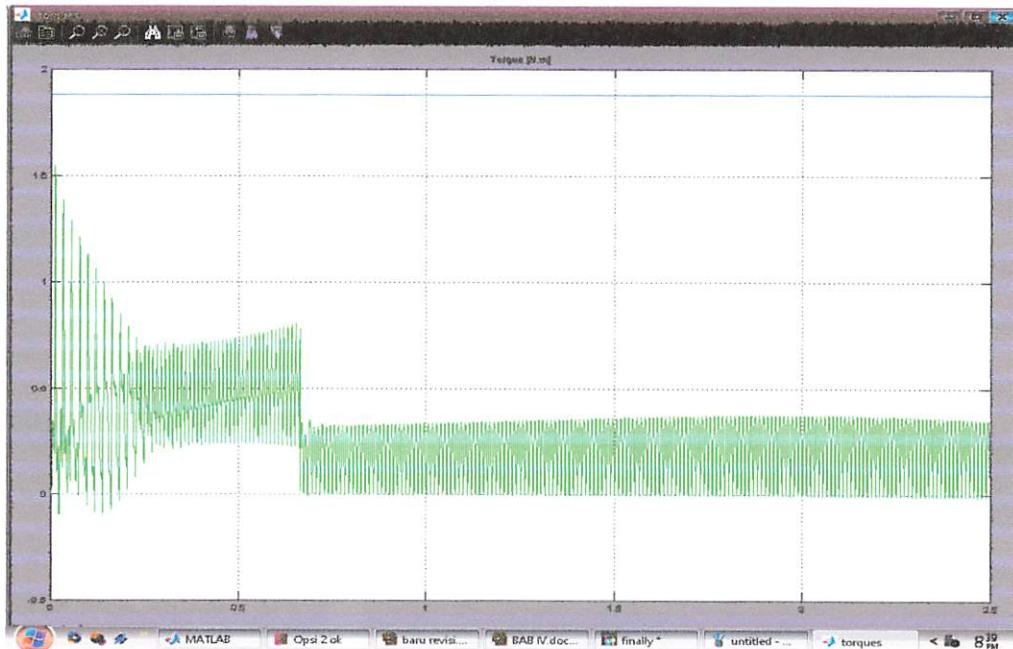
Gambar 4.63 Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 35$ Hz



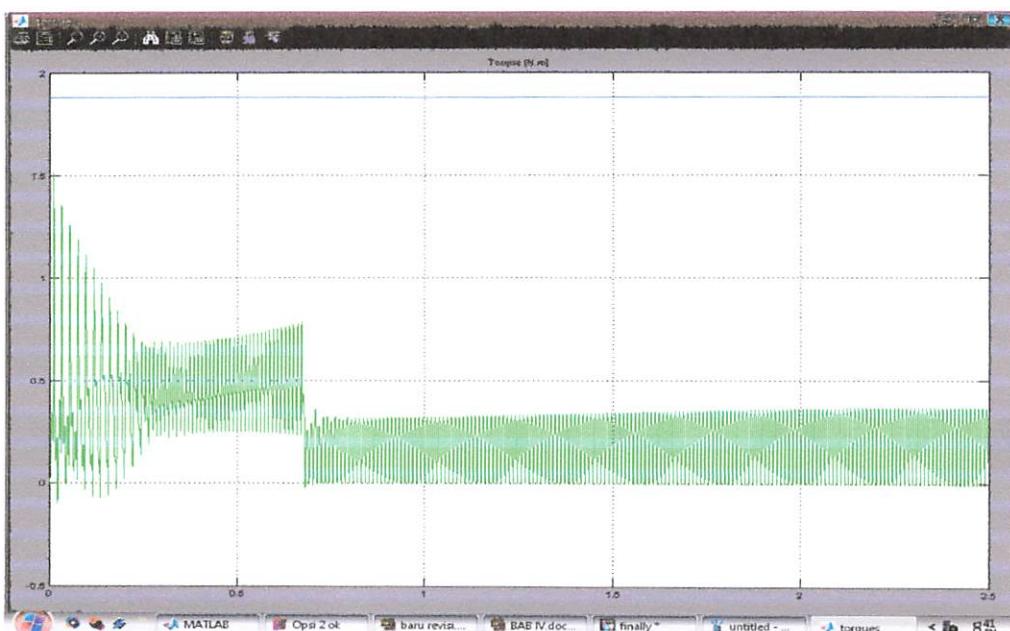
Gambar 4.64 Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 40$ Hz



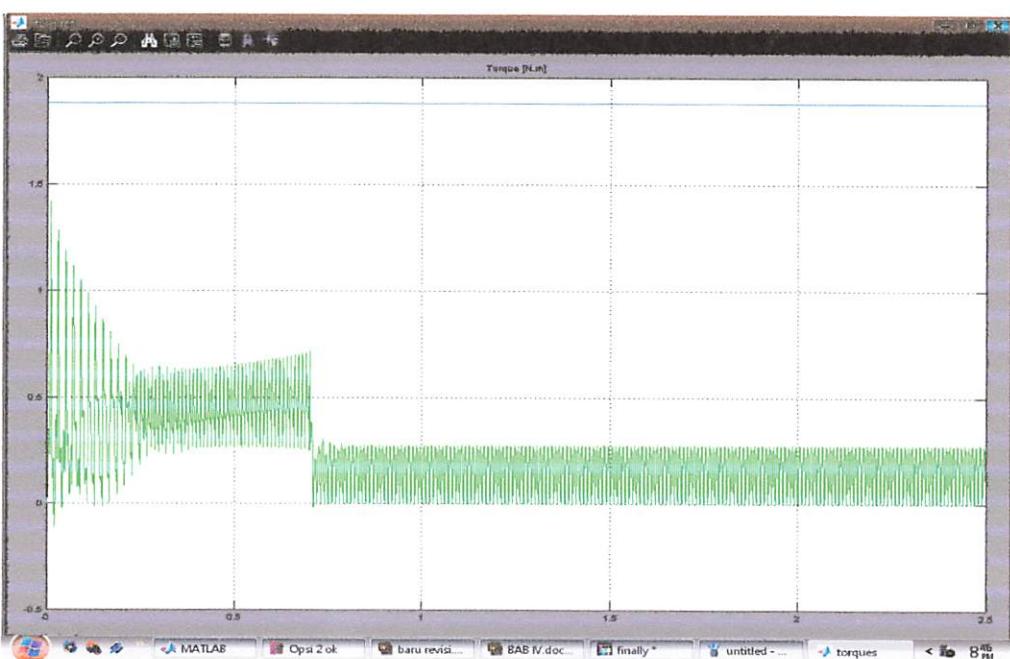
Gambar 4.65 Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 45$ Hz



Gambar 4.66 Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 50$ Hz



Gambar 4.67 Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 55$ Hz



Gambar 4.68 Hasil simulasi torsi motor berbeban pada $f = 60$ Hz

Tabel 4.4 Hasil Simulasi Tanpa Beban

f (Hz)	V Steadystate	Nr (rpm)	Te Max (N.m)	I Steadystate (A)
25	124	1426	2.6	0.65
30	144	1716	2.2	0.62
35	163	2004	1.8	0.59
40	184	2292	1.6	0.52
45	204	2565	1.4	0.49
50	220	2850	1.3	0.46
55	240	3132	1.15	0.42
60	260	3400	1.1	0.40

Tabel 4.5 Hasil Simulasi Berbeban

f (Hz)	V Steadystate	Nr (rpm)	Te Max (N.m)	I Steadystate (A)
25	123	1381	3	1.2
30	142	1652	2.5	1.0
35	161	1919	2.2	0.80
40	182	2182	1.75	0.75
45	201	2303	1.6	0.70
50	218	2581	1.55	0.62
55	238	2917	1.5	0.53
60	256	3170	1.45	0.45

4.3.4 Analisa Hasil Simulasi

4.3.4.1 Analisa Hasil Simulasi Tanpa Beban

1. Tegangan (Volt)

Dengan bertambahnya frekuensi, maka tegangan juga ikut naik.

- Pada frekuensi 25 Hz, Besarnya tegangan stator steady state adalah 124 Volt
- Pada frekuensi 30 Hz, Besarnya tegangan stator steady state adalah 144 Volt
- Pada frekuensi 35 Hz, Besarnya tegangan stator steady state adalah 163 Volt
- Pada frekuensi 40 Hz, Besarnya tegangan stator steady state adalah 184 Volt
- Pada frekuensi 45 Hz, Besarnya tegangan stator steady state adalah 204 Volt
- Pada frekuensi 50 Hz, Besarnya tegangan stator steady state adalah 220 Volt

2. Arus (Ampere)

- Disemua frekuensi arus relatif mengalami kenaikan sangat kecil pada keadaan steady state.
- Pada frekuensi 25 Hz, arus steady state adalah 0.65 ampere, dan arus kumparan bantu akan terputus pada waktu $t = 0.30$ detik

- Pada frekuensi 30 Hz, arus steady state adalah 0.62 ampere, dan arus kumparan bantu akan terputus pada waktu $t = 0.32$ detik
- Pada frekuensi 35 Hz, arus steady state adalah 0.59 ampere, dan arus kumparan bantu akan terputus pada waktu $t = 0.35$ detik
- Pada frekuensi 40 Hz, arus steady state adalah 0.52 ampere, dan arus kumparan bantu akan terputus pada waktu $t = 0.40$ detik
- Pada frekuensi 45 Hz, arus steady state adalah 0.49 ampere, dan arus kumparan bantu akan terputus pada waktu $t = 0.42$ detik
- Pada frekuensi 50 Hz, arus steady state adalah 0.46 ampere, dan arus kumparan bantu akan terputus pada waktu $t = 0.45$ detik

3. Kecepatan motor (rpm)

Kecepatan motor bertambah seiring dengan bertambahnya frekuensi (1426 rpm – 2850 rpm)

4. Torsi Elektromagnetik (N.m)

Disemua frekuensi torsi elektromagnetik relatif stabil (Steady State) karena tidak ada beban tapi torsi elektromagnetik max. yang terjadi pada saat start menurun seiring bertambahnya frekuensi (2.6 N.m – 1.3 N.m)

5. Pada saat frekuensi dinaikan melebihi frekuensi jala – jala (55 Hz – 60 Hz), maka tegangan mengalami kenaikan (240 V – 260 V) dan

Kecepatan motor mengalami kenaikan (3132 rpm – 3400 rpm) serta arus steady statenya mengalami penurunan (0.42 A – 0.40 A).

4.3.4.2 Analisa Hasil Simulasi Berbeban

1. Tegangan (Volt)

Dengan bertambahnya frekuensi, maka tegangan juga ikut naik.

- Pada frekuensi 25 Hz, Besarnya tegangan stator steady state adalah 123 Volt
- Pada frekuensi 30 Hz, Besarnya tegangan stator steady state adalah 142 Volt
- Pada frekuensi 35 Hz, Besarnya tegangan stator steady state adalah 161 Volt
- Pada frekuensi 40 Hz, Besarnya tegangan stator steady state adalah 182 Volt
- Pada frekuensi 45 Hz, Besarnya tegangan stator steady state adalah 201 Volt
- Pada frekuensi 50 Hz, Besarnya tegangan stator steady state adalah 218 Volt

2. Arus (Ampere)

- Disemua frekuensi arus relatif mengalami kenaikan sangat kecil pada keadaan steady state.

- Pada frekuensi 25 Hz, arus steady state adalah 1.2 ampere, dan arus kumparan bantu akan terputus pada waktu $t = 0.40$ detik
- Pada frekuensi 30 Hz, arus steady state adalah 1 ampere, dan arus kumparan bantu akan terputus pada waktu $t = 0.45$ detik
- Pada frekuensi 35 Hz, arus steady state adalah 0.8 ampere, dan arus kumparan bantu akan terputus pada waktu $t = 0.50$ detik
- Pada frekuensi 40 Hz, arus steady state adalah 0.75 ampere, dan arus kumparan bantu akan terputus pada waktu $t = 0.58$ detik
- Pada frekuensi 45 Hz, arus steady state adalah 0.7 ampere, dan arus kumparan bantu akan terputus pada waktu $t = 0.67$ detik
- Pada frekuensi 50 Hz, arus steady state adalah 0.62 ampere, dan arus kumparan bantu akan terputus pada waktu $t = 0.74$ detik

3. Kecepatan motor (rpm)

Kecepatan motor bertambah seiring dengan bertambahnya frekuensi (1381 rpm – 2581 rpm)

4. Torsi Elektromagnetik (N.m)

Disemua frekuensi torsi elektromagnetik relatif stabil (Steady State) karena tidak ada beban tapi torsi elektromagnetik max. yang terjadi pada saat start menurun seiring bertambahnya frekuensi (3 N.m – 1.55 N.m)

5. Pada saat frekuensi dinaikan melebihi frekuensi jala – jala (55 Hz – 60 Hz), maka tegangan mengalami kenaikan (238 V – 256 V), dan kecepatan motor mengalami kenaikan (2917 rpm – 3170 rpm), serta arus steady statenya mengalami penurunan (0.53 A – 0.45 A).

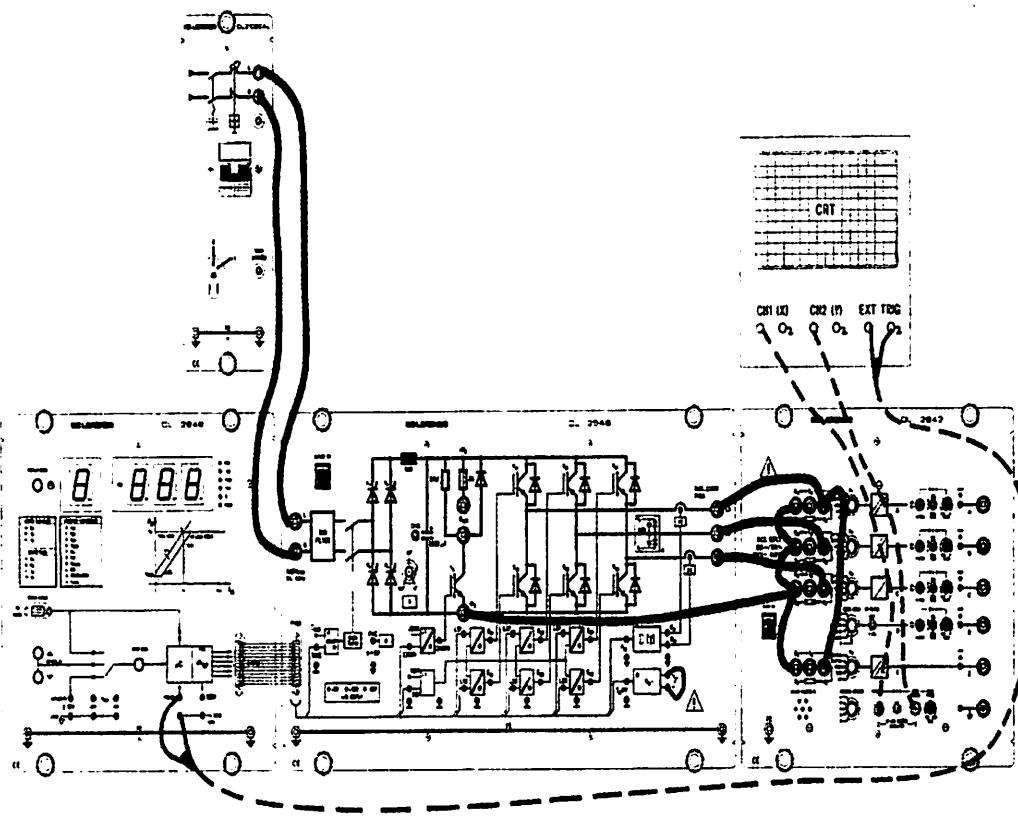
4.4 Eksperimen

Alat yang digunakan pada eksperimen pengontrolan kecepatan motor induksi satu fasa menggunakan sinisoidal PWM inverter antara lain :

- SINGLE PHASE SUPPLY UNIT DE LORENZO DL 2108SAL
- FREQUENCY CONVERTER DE LORENZO DL 2646
- PWM CONTROL UNIT DE LORENZO DL 2648
- ISOLATION AMPLIFIER DE LORENZO DL 2642
- VOLTMETER DE LORENZO DL 1031
- AMPEREMETER DE LORENZO DL 1031
- TACHNOMETER DE LORENZO DL 2026

Berikut ini merupakan gambar rangkaian pengujian yang menggunakan peralatan diatas, sedangkan motor induksi merupakan objek yang akan dikontrol yang langsung disambungkan ke terminal output dari inverter.

PULSE WIDTH MODULATION (PWM)



Gambar 4.69 Rangkaian Eksperimen

4.4.1 Hasil Eksperimen

Tabel 4.6 Hasil Eksperimen

f (Hz)	V (Volt)	Nr (rpm)	I (ampere)
25	126	1391	0.67
30	147	1661	0.63
35	167	1943	0.60
40	188	2215	0.54
45	208	2500	0.50
50	225	2800	0.48

4.4.2 Analisa Hasil Eksperimen

- Tegangan bertambah seiring bertambahnya frekuensi (126 V – 225 V)
- Kecepatan motor meningkat seiring bertambahnya frekuensi (976 rpm – 2800 rpm)
- Pada saat frekuensi diturunkan arus relatif mengalami kenaikan sangat kecil pada keadaan steady state (0.48 A – 0.67 A)

4.5 Perbandingan Hasil Simulasi dan Eksperimen kondisi tanpa beban

Tabel 4.7

Perbandingan Hasil Simulasi dan Eksperimen kondisi tanpa beban

f (Hz)	V Steady state (V)		Nr (rpm)		I steady state (ampere)	
	Sim	Eks	Sim	Eks	Sim	Eks
25	124	126	1426	1391	0.65	0.67
30	144	147	1716	1661	0.62	0.63
35	163	167	2004	1943	0.59	0.60
40	184	188	2292	2215	0.52	0.54
45	204	208	2565	2500	0.49	0.50
50	220	225	2850	2800	0.46	0.48

4.5.1 Analisa Hasil Perbandingan Simulasi dan Eksperimen Tanpa Beban

- Kecepatan Motor

*) Nilai Error Simulasi

$$\left| \frac{1426 - 1391}{1443} \right| \times 100\% = 3.60\%$$

$$\left| \frac{1716 - 1661}{1734} \right| \times 100\% = 4.20\%$$

$$\left| \frac{2004 - 1943}{2025} \right| \times 100\% = 4.04 \%$$

$$\left| \frac{2292 - 2215}{2315} \right| \times 100\% = 4.31 \%$$

$$\left| \frac{2565 - 2500}{2606} \right| \times 100\% = 4.06 \%$$

$$\left| \frac{2850 - 2800}{2894} \right| \times 100\% = 3.24 \%$$

Rata – rata nilai error simulasi =

$$\frac{\sum \text{error}}{n} = \frac{3.60 + 4.20 + 4.04 + 4.31 + 4.06 + 3.24}{6} = 2.69 \%$$

- Tegangan Stator

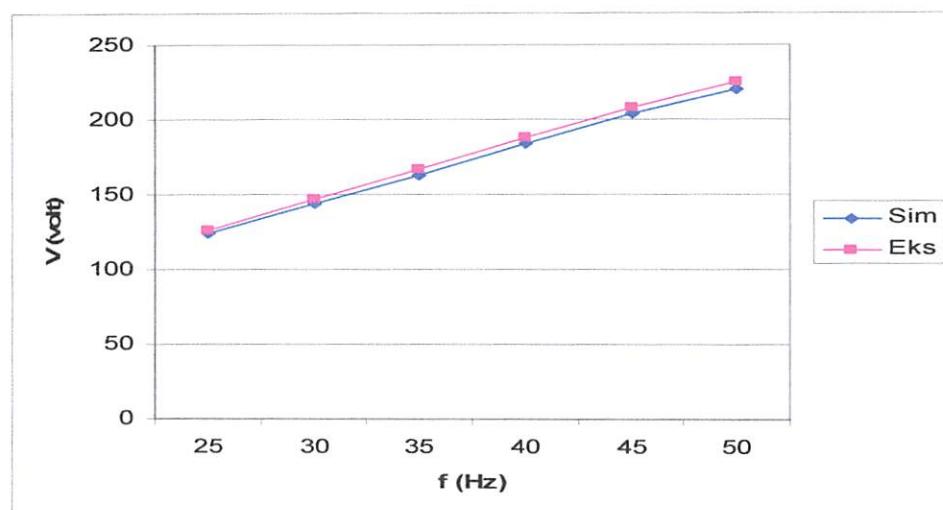
Dengan cara yang sama diperoleh nilai rata – rata error simulasi adalah
2.69 %

- Arus Stator

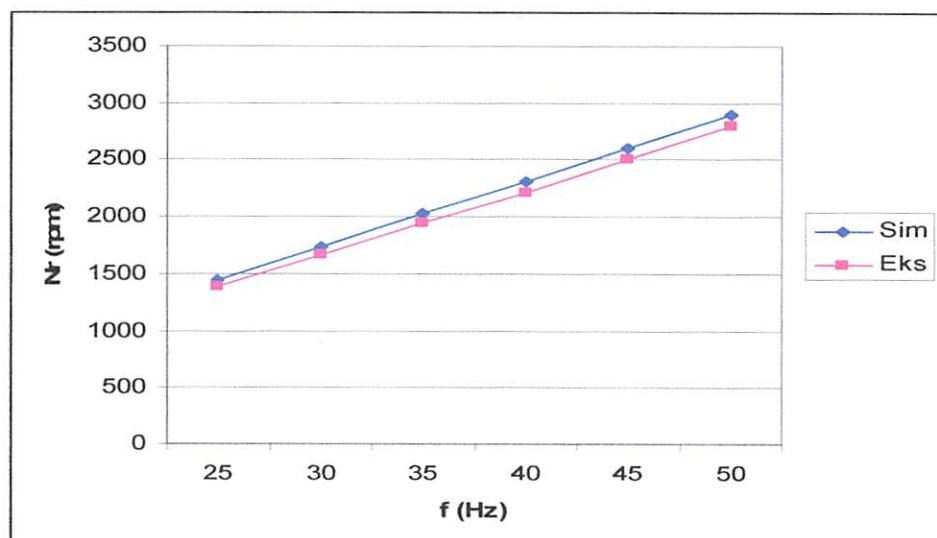
Dengan cara yang sama diperoleh nilai rata – rata error simulasi adalah
2.76 %

4.5.2 Grafik hasil Simulasi

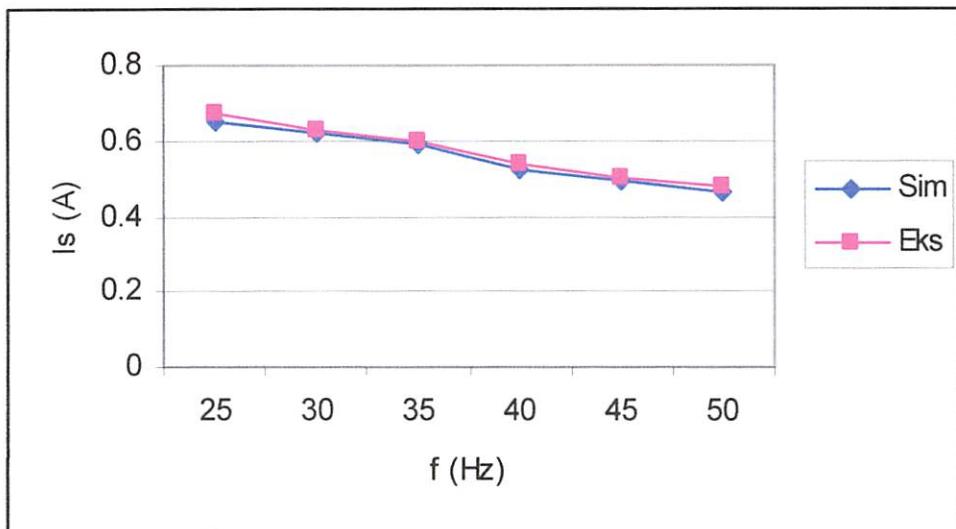
4.5.2.1 Grafik hasil Simulasi Pada Kondisi Tanpa Beban



Grafik 4.1 Tegangan Terhadap Frekuensi

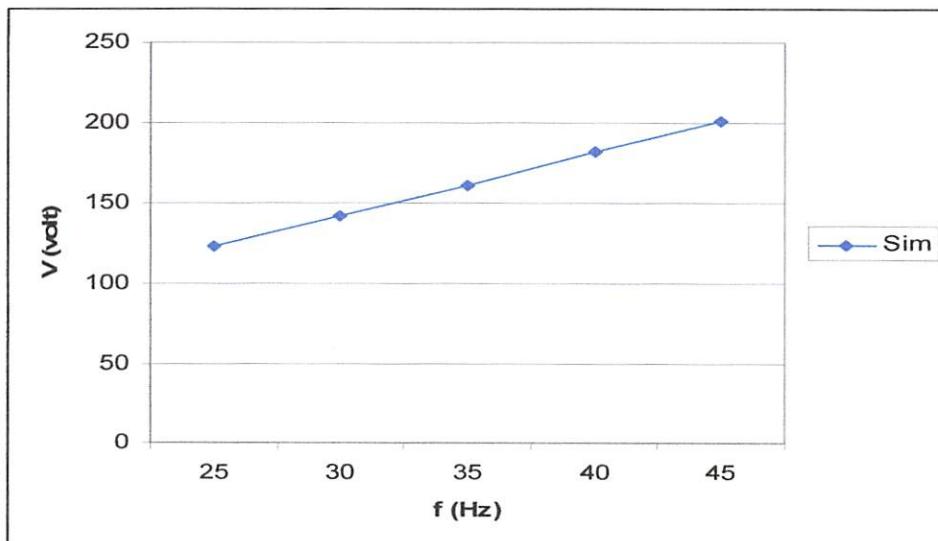


Grafik 4.2 Kecepatan Motor Terhadap Frekuensi

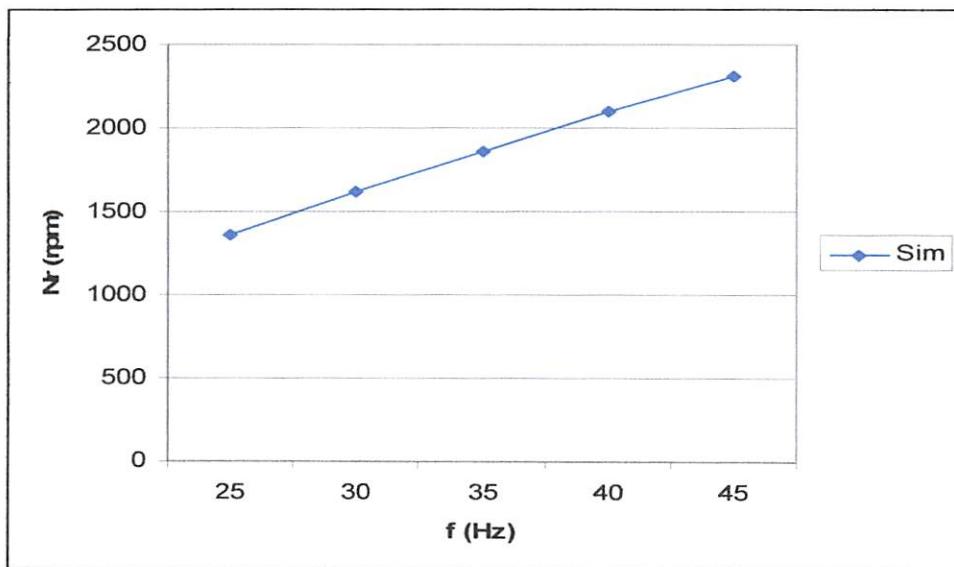


Grafik 4.3 Arus Stator Terhadap Frekuensi

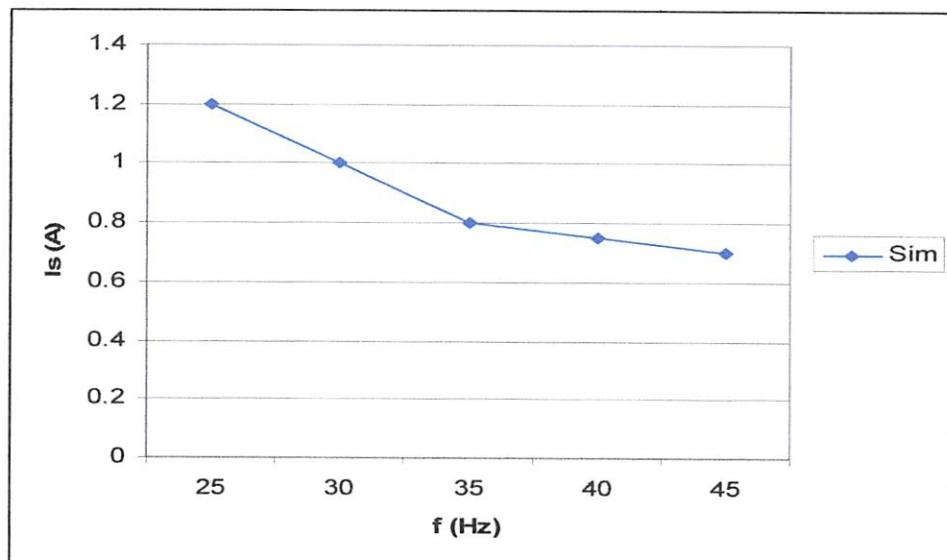
4.5.2.2 Grafik hasil Simulasi Pada Kondisi Berbeban



Grafik 4.4 Tegangan Terhadap Frekuensi



Grafik 4.5 Kecepatan Motor Terhadap Frekuensi



Grafik 4.6 Arus Stator Terhadap Frekuensi

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari simulasi dan eksperimen yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Pada kondisi tanpa beban :
 - Pada simulasi : Semakin besar frekuensi (25 Hz – 50 Hz), maka tegangan akan naik (124 V – 220 V), dan kecepatan motor juga semakin besar (1426 rpm – 2850 rpm), tetapi arus cenderung mengalami penurunan walaupun relatif kecil (0.65 A – 0.46 A).
 - Pada eksperimen : Semakin besar frekuensi (25 Hz – 50 Hz), maka tegangan akan naik (126 V – 225 V), dan kecepatan motor juga semakin besar (1391 rpm – 2800 rpm), tetapi arus cenderung mengalami penurunan walaupun relatif kecil (0.67 – 0.48 A).
- Pada kondisi berbeban khususnya pada simulasi : semakin besar frekuensi (25 Hz – 50 Hz), maka tegangan akan naik (123 V – 218 V), dan kecepatan motor juga semakin besar (1381 rpm – 2581 rpm), tetapi arus cenderung mengalami penurunan (1.2 A – 0.62 A).
- Berdasarkan hasil perbandingan antara kondisi tanpa beban dengan kondisi berbeban maka dapat disimpulkan bahwa pada saat kondisi

berbeban besarnya arus dan torsi mengalami kenaikan, sedangkan besarnya putaran motor mengalami penurunan.

- Pada motor starting kapasitor saklar sentrifugal akan terputus secara otomatis.
 - Kondisi tanpa beban : Pada frekuensi (25 Hz – 50 Hz), maka saklar akan terputus pada waktu $t = 0.30$ detik – 0.45 detik.
 - Kondisi berbeban : Pada frekuensi (25 Hz – 50 Hz), maka saklar akan terputus pada waktu $t = 0.40$ detik – 0.74 detik.
- Pada saat frekuensi dinaikkan melebihi frekuensi jala – jala (55 Hz – 60 Hz), maka tegangan mengalami kenaikan (240 V – 260 V), kecepatan motor akan semakin besar (3132 rpm – 3400 rpm), dan arus steady statenya (0.42 A – 0.40 A).
- Besarnya nilai eror simulasi :
 - Nilai rata – rata error simulasi pada tegangan stator adalah 2.69 %
 - Nilai rata – rata error simulasi pada kecepatan motor adalah 3.90 %
 - Nilai rata – rata error simulasi pada arus stator adalah 2.76 %

5.2 Saran

Setelah melakukan penyusunan skripsi ini kami mempunyai masukan untuk dikembangkan yaitu:

1. Penggunaan PC untuk pengontrolan kecepatan motor merupakan sesuatu yang menarik untuk dikaji pada waktu mendatang mengingat fasilitas tersebut sudah tersedia pada alat yang kami gunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Achyanto,Djoko 1992. “ *Mesin – mesin Listrik (Edisi keempat)* ”, Jakarta,Erlangga.
- [2] Agus Sugiyono, ” *Teknik Penghilangan Harmonisa Pada Inverter Satu Fasa* ”, ITB Bandung.
- [3] B.S. Cunha, J.R. Camacho & C.A. Bissochi Jr., “ *A Single Phasa PIC Controlled Sinusoidal PWM Inverter* ”, paper submitted to the Science & engineering Journal, Uberlandia, MG, Brazil.
- [4] Chapman, ” *Fundamental of Electrical Engginering* ”.
- [5] G. Karady and Keith Holbert, “ *Energy Konversion and Transport* ”, chapter 7, Induction Motor.
- [6] M.H. Rashid, “ *Power Electronic Circuit, Devices and Aplication* ”, Edisi ketiga, 2004
- [7] Mohan, Undeland, Robbins, “ *Power Electronic (Converter, Aplication and Design)* ”, Second Edition.
- [8] R. Krishan. 1998, ” *Electric Motor Drives Modeling, Analysis and Control* ”. Prentice hall International Inc.
- [9] www. Microchip.com “ *AC induction motor fundamentals* ”.
- [10] Zuhal., ” *Dasar Teknik Tenaga Listrik* ”, Penerbit ITB Bandung.

LAMPIRAN



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

1. Nama : GUNAWAN
2. NIM : 03.12.023
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER DENGAN MATLAB SIMULINK

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Senin
Tanggal : 03 September 2007
Dengan Nilai : 80,145 (A) *Zey*



Panitia Ujian Skripsi

Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua



Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Sekretaris

Anggota Penguji



Ir. Choirul Saleh, MT
Penguji Pertama



Irrine Budi S., ST. MT
Penguji Kedua



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Senin
Tanggal : 03 September 2007

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : GUNAWAN
2. NIM : 03.12.023
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik S-1
5. Judul Skripsi : ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER DENGAN MATLAB SIMULINK

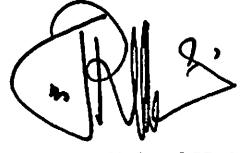
Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Ket.
1	Bagaimana jika pengujian simulasi frekuensi PWM melebihi frekuensi jala – jala dan berikan analisanya	<i>✓</i>
2	Penulisan tabel halaman 30 berada diatas tabel	<i>✓</i>
3	Gambar atau grafik diberi nama dibawah gambar atau grafik	<i>✓</i>
4	Jika transfer function motor tidak digunakan sebaiknya tidak usah disertakan	<i>✓</i>
5	Tampilan data pada matlab simulink harus sesuai dengan parameter pada pengujian motor secara riil yang diperlukan	<i>✓</i>

6	Semua inputan data matlab harus ditampilkan yang jelas dan sinkron	
7	Single line dari pengujian motor disempurnakan dan ditambahkan	
8	Prinsip PWM dilengkapi	

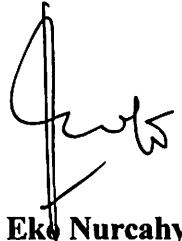
Anggota Penguji


Ir. Choiral Saleh, MT
 Penguji Pertama


Irrine Budi S., ST. MT
 Penguji Kedua

Dosen Pembimbing


Ir. M. Abdul Hamid, MT
 Pembimbing Pertama


Ir. Eko Nurcahyo
 Pembimbing Kedua



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Gunawan
Nim : 0312023
Masa Bimbingan : 25 Mei s/d 25 Nopember 2007
Judul Skripsi : Analisis Pengontrolan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa Menggunakan Sinusoidal PWM Inverter Dengan Matlab Simulink

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	06/08/07	Bab. I : Latar blkg, tujuan, Batasan masalah Bab. II : analisa teknik simulasi, relasi akt., Bab. III : Perbaikan kesimpulan, kwang, sarana	NF
2.	7/8 '07	Acc revisi	NF
3.	16/08/07	Acc makertati	NF
4.	29/08/07	Acc uji dan skripsi	NF
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Malang,
Dosen Pembimbing I

Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP. Y. 1018800188



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Gunawan
Nim : 0312023
Masa Bimbingan : 25 Mei s/d 25 Nopember 2007
Judul Skripsi : Analisis Pengontrolan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa Menggunakan Sinusoidal PWM Inverter Dengan Matlab Simulink

NO	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	26/07/07	Revisi Bab. I	{ +}
2.	28/07/07	Aee. Bab. I. Revisi Bab. II.	{ +}
3.	01/08/07	Aee. Bab. II Revisi Bab. III	{ +}
4.	3/08/07	Aee. Bab. III	{ +}
5.	5/08/07	Revisi Bab. IV, V	{ +}
6.	7/08/07	Aee. Bab. IV, V	{ +}
7.	16/08/07	Aee. Makalah Akhir	{ +}
8.	29/08/07	Aee. ciptaan Skripsi	{ +}
9.			
10.			

Malang,
Dosen Pembimbing II

Ir. Eko Nurcahyo
NIP. Y. 1028700172

PERMOHONAN PERSETUJUAN SKRIPSI

betanda tangan dibawah ini :

n a : Gunawan
A : 08.12.023
ester : VIII (8)
ltas : Teknologi Industri
san : Teknik Elektro S-1
sentras : Teknik Elektronika / Teknik Energi Listrik
hat : Jl. Bendungan Sutami 1A

an ini kami mengajukan permohonan untuk mendapatkan persetujuan untuk buat **SKRIPSI Tingkat Sarjana**. Untuk melengkapi permohonan tersebut, bersama lampirkan persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi.
un persyaratan-persyaratan pengambilan **SKRIPSI** adalah sebagai berikut :

- elah melaksanakan semua praktikum sesuai dengan konsentrasinya
elah lulus dan menyerahkan Laporan Praktek Kerja
elah lulus seluruh mata kuliah keahlian (MKB) sesuai konsentrasinya
elah menempuh mata kuliah ≥ 134 sks dengan IPK ≥ 2 dan tidak ada nilai E
elah mengikuti secara aktif kegiatan seminar skripsi yang diadakan Jurusan
Menemuhi persyaratan administrasi

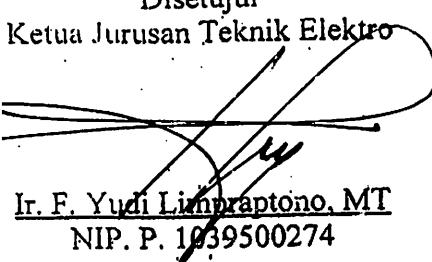
ikian permohonan ini untuk mendapatkan penyelesaian lebih lanjut dan atas antianya kami ucapkan terima kasih.

ah diteliti kebenaran data tersebut diatas
Recording Teknik Elektro

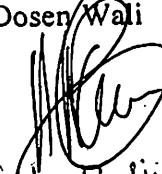
Malang, April 2007
Pemohon


..... Gunawan

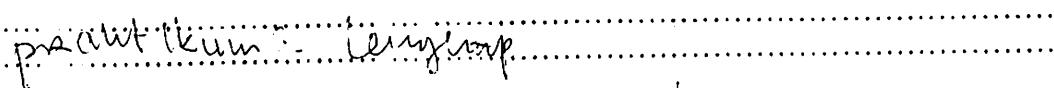
Disetujui
Ketua Jurusan Teknik Elektro


Ir. F. Yudi Limpaptono, MT
NIP. P. 1039500274

Mengetahui
Dosen Wali


(Dr. Mardede Pudji M., M.T.)

ntan :
i mahasiswa yang telah memenuhi persyaratan mengambil SKRIPSI agar membuat
osal dan mendapat persetujuan dari Ketua Jurusan/Sekretaris Jurusan T. Elektro S-1


Praktikum Tingkat

**LEMBAR PENGAJUAN JUDUL SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1**

entrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika *)

Nama Mahasiswa : <i>Gurnawati</i>	Nim : 03.12.028
Waktu pengajuan : Tanggal : <i>14</i>	Bulan : April Tahun : <i>2007</i>
Spesifikasi judul (berilah tanda silang)	
<input checked="" type="checkbox"/> a. Sistem Tenaga Elektrik <input checked="" type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi <input type="checkbox"/> c. Tegangan Tinggi & Pengukuran <input type="checkbox"/> d. Sistem Kendali Industri	<input type="checkbox"/> e. Elektronika & Komponen <input type="checkbox"/> f. Elektronika Digital & Komputer <input type="checkbox"/> g. Elektronika Komunikasi <input type="checkbox"/> h. lainya
Konsultasikan judul sesuai materi bidang ilmu kepada Dosen *) : <i>Ir. M. Abd. Hamid, MT. ... fuz</i>	
Judul yang diajukan mahasiswa :	Analisis Pengendalian Kecepatan Motor Indukar... pada ... menggunakan ... Simulink ...
Perubahan Judul yang disetujui Dosen sesuai materi bidang ilmu
Catatan :
Persetujuan Judul Skripsi yang dikonsultasikan kepada Dosen materi bidang ilmu	Disetujui, Dosen <i>17 April 2007</i> 

hatian :

Formulir Pengajuan ini harap dikembalikan kepada jurusan paling lambat satu minggu setelah disetujui kelompok dosen keahlian dengan dilampirkan proposal skripsi beserta persyaratan skripsi sesuai form S-1

Keterangan : *) coret yang tidak perlu

**) dilingkari a, b, c, atau g.sesuai bidang keahlian

*Ir. M. Abd. Hamid, MT
Ir. Elco Nurcahyo* *Zuf*
4/07

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S -1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK



**ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI
SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER
DENGAN MATLAB SIMULINK**

PROPOSAL SKRIPSI

Disusun Oleh :

GUNAWAN

03.12.023

APRIL 2007

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK



**ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI
SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER
DENGAN MATLAB SIMULINK**

PROPOSAL SKRIPSI

Disusun Oleh :

GUNAWAN

03.12.023

Malang, April 2007

**Telah diperiksa dan disetujui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1**

(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT.)

NIP : Y. 1039500274



ampiran : 1 (satu) berkas

Pembimbing Skripsi

epada : Yth. Bapak Ir. M. Abdul Hamid, MT
Dosen Institut Teknologi Nasional
MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Gunawan
Nim : 03.12.023
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping dari 1 atau 2 dosen pembimbing *), untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposal terlampir) :

“ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER DENGAN MATLAB SIMULINK”

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapan terima kasih.

Malang, 3 Mei 2007

Ketua

Jurusan Teknik Elektro S-1

F. Yudi Limpraptono, MT
Nip. 103 950 0274

Hormat kami,

Gunawan
NIM 03.12.023



lampiran : 1 (satu) berkas

Pembimbing Skripsi

sepada : Yth. Bapak Ir. Eko Nurcahyo
Dosen Institut Teknologi Nasional
M A L A N G

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Gunawan
Nim : 03.12.023
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping dari 1 atau 2 dosen pembimbing *), untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposal terlampir) :

“ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER DENGAN MATLAB SIMULINK”

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapkan terima kasih.

Malang, 3 Mei 2007

Ketua
rusan Teknik Elektro S-1

F. Yudi Limpraptono, MT
Nip. 103 950 0274

Hormat kami,

Gunawan
NIM 03.12.023



ampiran : 1 (satu) berkas

Pembimbing Skripsi

epada : Yth. Bapak **Ir. Eko Nurcahyo**

Dosen Institut Teknologi Nasional

MALANG

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Gunawan

Nim : 03.12.023

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini mengajukan permohonan, kiranya Bapak bersedia menjadi Dosen Pembimbing Utama / Pendamping dari 1 atau 2 dosen pembimbing *), untuk penyusunan Skripsi dengan judul (proposal terlampir) :

“ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER DENGAN MATLAB SIMULINK”

Adapun tugas tersebut sebagai salah satu syarat untuk menempuh Ujian Akhir Sarjana Teknik.

Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak kami ucapan terima kasih.

Malang, 3 Mei 2007

Ketua

Jurusan Teknik Elektro S-1

F. Yudi Limpraptono, MT
Nip. 103 950 0274

Hormat kami,

Gunawan
NIM 03.12.023



PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : Gunawan

Nim : 03.12.023

Semester : VIII (delapan)

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini Menyatakan bersedia Membimbing Skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

**“ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI
SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER
DENGAN MATLAB SIMULINK”**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dipergunakan seperlunya.

Catatan :

Setelah disetujui agar formulir ini

Diserahkan mahasiswa yang bersangkutan

Kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut

Malang, Mei 2007

Kami yang Membuat pernyataan

Ir. M. Abdul Hamid, MT
Nip. Y. 1018800188

Form S-3b



PERNYATAAN KESEDIAAN DALAM PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : Gunawan

Nim : 03.12.023

Semester : VIII (delapan)

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Dengan ini Menyatakan bersedia Membimbing Skripsi dari mahasiswa tersebut, dengan judul :

**“ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI
SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER
DENGAN MATLAB SIMULINK”**

Demikian surat pernyataan ini kami buat agar dipergunakan seperlunya.

Catatan :

Setelah disetujui agar formulir ini

Diserahkan mahasiswa yang bersangkutan

Kepada jurusan untuk diproses lebih lanjut

Malang, Mei 2007

Kami yang Membuat pernyataan

Ir. Eko Nurcahyo
Nip. Y. 1028700172

Form S-3b

SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO/TEKNIK ENERGI LISTRIK S-1
Hari/Tanggal : Jum'at 25 Mei 2007

No	Waktu	Nama / Nim	Judul Makalah	Pembimbing/Kelompok Dosen Keahlian	Ruang
1.	09.00 s/d Selesai	<u>Gunawan</u> 0312023	Analisis Pengontrolan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa Menggunakan Sinusoidal Pwm Inverter Dengan Matlab Simulink	Ir. M. Abdul Hamid, MT <u>Ir. Eko Nurcahyo</u> 1. Ir. H. Choirul Saleh, MT 2. Ir. H. Taufik Hidayat, MT	Seminar Lantai 1
2.		<u>Muslikh Arif P</u> 0112025	Analisis Karakteristik Motor Induksi 3 Phasa Dengan Diagram Lingkaran Menggunakan Program Matlab		
3.		<u>Fandi Juliandri B</u> 0112014	Estimasi Parameter Adaptif Motor Motor DC Shunt Dengan Metode Algoritma Genetic Menggunakan Perangkat Lunak Matlab		
4.		<u>Fud Naspuddin</u> 0112159	Optimasi Daya Reaktif Secara Ekonomis Menggunakan Metode Kombinasi Evolutionary Programming – Evolutionary Strategi – Genetic Algorithm Pada Saluran Transmisi 150 Kv Sub – System Paiton Bali		
5.		<u>M. Khoirul Anam</u> 0112089	Optimasi Penempatan Dan Kapasitas Kapasitor Pada Jaringan Distribusi Primer 20 Kv Menggunakan Metode Binary Particle Swarm Optimization Di Gi Pier Penyulang Syiar Pasuruan		
6.		<u>Riski</u> 0112072	Penerapan Metode Prim Graph Simulated Annealing (PGSA) Pada Optimasi Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial Di Gi Pemaron Bali		



Malang, 24 Mei 2007

Jurusan Teknik Elektro S-1

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK



**ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI
SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER
DENGAN MATLAB SIMULINK**

MAKALAH SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI

Disusun oleh :

GUNAWAN

03.12.023

Malang, Mei 2007

Diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP. Y. 1018800188

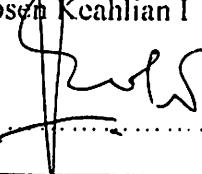
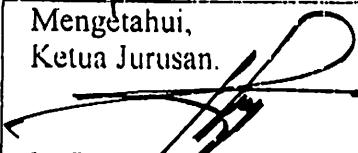
Dosen Pembimbing II

Ir. Eko Nurcahyo
NIP. Y. 1028700172

BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI

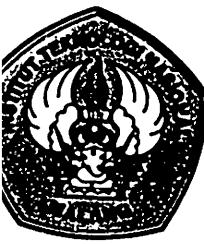
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika¹⁾

Nama Mahasiswa : <u>Gunawan.</u>		Nim : <u>03.12.023</u>	
Keterangan Pelaksanaan	Tanggal	Waktu	Tempat
<u>25 Mei 2007</u>		<u>109.00</u>	<u>Ruang Seminar I</u>
Spesifikasi judul			
a. Sistem Tenaga Elektrik <input checked="" type="checkbox"/> b. Energi & Konversi Energi c. Tegangan Tinggi & Pengukuran d. Sistem Kendali Industri	e. Elektronika & Komponen f. Elektronika Digital & Komputer g. Elektronika Komunikasi h. lainnya		
Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	<u>Analisis pengontrolan kecepatan motor induksi. Sudah pula menggunakan Simulink... pWM invertir dengan Matlab Simulink.</u>		
Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian		
Catatan :		
Persetujuan Judul Skripsi :			
Disetujui, Dosen Keahlian I 	Disetujui, Dosen Keahlian II 		
Mengetahui, Ketua Jurusan. 	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs. 		
Ir. F. Yudi Linpraptono, MT Nip. Y. 1039500274	M. M. Abdur Hamid, MT...		

Rhatian :

- *) coret yang tidak perlu
- **) dilingkari a, b, c, atau g sesuai bidang keahlian.



BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN-299/I.TA/2/2007
Lampiran : -
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Kepada : Yth. Sdr. Ir. **M. ABDUL HAMID, MT**

Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di
Malang

Dengan Hormat,
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal Skripsi
untuk Mahasiswa:

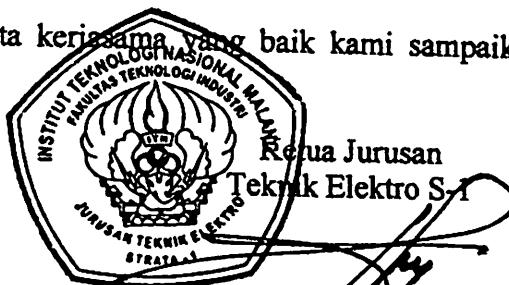
Nama : GUNAWAN
Nim : 0312023
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Kosentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya
kepada Saudara/I selama masa waktu 6 (enam) bulan, terhitung mulai
tanggal:

25 Mei 2007 s/d 25 November 2007

Sebagai satu syarat untuk menempuh Ujian Sarjana Teknik, Jurusan
Teknik Elektro-S1

Demikian atas perhatian serta kerjasama yang baik kami sampaikan
terima kasih.



Ir. F. Yudi Limpraptono, MT *84*
NIP. Y. 1039500274

Tembusan Kepada Yth:

1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip

Form. S4a



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

Nomor : ITN-300/I.TA/2/2007
Lampiran : -
Perihal : **BIMBINGAN SKRIPSI**

Kepada : Yth. Sdr. Ir. EKO NURCAHYO

Dosen Pembimbing
Jurusan Teknik Elektro S-1
di
Malang

Dengan Hormat,
Sesuai dengan permohonan dan persetujuan dalam proposal Skripsi
untuk Mahasiswa:

Nama : GUNAWAN
Nim : 0312023
Fakultas : Teknologi Industri
Jurusan : Teknik Elektro S-1
Kosentrasi : Teknik Energi Listrik S-1

Maka dengan ini pembimbingan tersebut kami serahkan sepenuhnya
kepada Saudara/I selama masa waktu 6 (enam) bulan, terhitung mulai
tanggal:

25 Mei 2007 s/d 25 November 2007

Sebagai satu syarat untuk menempuh Ujian Sarjana Teknik, Jurusan
Teknik Elektro-S1

Demikian atas perhatian serta kerjasama yang baik kami sampaikan
terima kasih.



Ir. F. Yudi Limpraptono, MT *Zuy*
NIP. Y. 1039500274

Tembusan Kepada Yth:

1. Mahasiswa Yang Bersangkutan
2. Arsip

Form. S4a

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK



**ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI
SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER
DENGAN MATLAB SIMULINK**

SKRIPSI

Disusun oleh :

GUNAWAN

03.12.023

Malang, Agustus 2007

Diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

A handwritten signature in black ink, appearing to read "VAF".

Ir. M. Abdul Hamid, MT
NIP. Y. 1018800188

Dosen Pembimbing II

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Eko Nurcahyo".

Ir. Eko Nurcahyo
NIP. Y. 1028700172

ANALISIS PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI SATU FASA MENGGUNAKAN SINUSOIDAL PWM INVERTER DENGAN MATLAB SIMULINK

Gunawan

Institut Teknologi Nasional Malang

Jl. Raya Karanglo, Km 2 Malang e-mail : itn@itn.ac.id

Abstrak

Pengontrolan kecepatan motor induksi satu fasa jenis starting capacitor sangat diperlukan apabila motor tersebut akan digunakan pada kecepatan yang diinginkan, pengontrolan bisa dilakukan dengan menggunakan sinusoidal PWM inverter. Simulasi komputer sering dipilih untuk mempelajari kinerja peralihan dan idali serta untuk mencoba rancangan – rancangan konseptual. Simulasi sangat membantu dalam menambah pemahaman terhadap perilaku dinamik dan interaksinya yang sering kali tidak tampak dalam teori yang dibaca, tetapi dilanjutkan pada sistem yang nyata dalam bentuk percobaan. Dengan menggunakan software matlab simulink versi 7.0 kita dapat menganalisa pengontrolan kecepatan motor dengan membentuk blok – blok fungsi secara langsung dan menginputkan parameter yang sesuai.

Abstract

Speed control of single phase induction motor type starting capacitor this very need it will be used the intended speed, the control can be done by using sinusoidal PWM inverter. Computer simulation is often chosen to study the transition and control performance and also to try the conceptual plan. Simulation is very useful to aid the deeper understanding about its dynamical attitude and interaction which often doesn't appear in the academic theories, to continue on the real system in form of trial. By using computer software matlab simulink version 7 we can analyze the motor speed controlling system by forming series blocks directly and also can input the appropriate parameter.

1. PENDAHULUAN

atar Belakang

Penggunaan motor induksi yang mencakup jauh luas baik dalam bidang industri maupun dalam kehidupan sehari-hari membuat motor jenis ini mendapat perhatian dari para pengguna serta pabrik pembuatnya untuk semakin meningkatkan mutu dari suatu motor induksi yang dihasilkan sehingga tidak mengecewakan para konsumennya.

Pengontrolan kecepatan motor sangat diperlukan apabila motor tersebut akan digunakan pada kecepatan yang diinginkan. Pengontrolan bisa dilakukan dengan menggunakan sinusoidal PWM inverter.

Dengan menggunakan bantuan software MATLAB versi 7.0 kita dapat menganalisa kecepatan motor dengan membentuk blok-blok transfer function dari persamaan matematika motor yang telah diketahui.

Tujuan Pembahasan

Tujuan pembahasan skripsi ini adalah menganalisis pengontrolan kecepatan motor

induksi satu fasa menggunakan sinusoidal PWM inverter dengan MATLAB simulink.

Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam skripsi akan lebih terarah sesuai dengan tujuan dan judul yang ada maka permasalahan dibatasi oleh beberapa hal sebagai berikut :

- a. Analisis dilakukan pada Motor Induksi Satu Fasa Jenis Kapasitor Start FUJIKAWA / DB-123, 100 Watt, 220 Volt, 1,9 Ampere, Cos φ 0,83, 50 Hz, 2800 rpm.
- b. Analisa Menggunakan Simulink yang dibentuk menggunakan transfer function dari persamaan matematika
- c. Sistem kontrol yang digunakan adalah sistem kontrol sinusoidal PWM inverter.
- d. Membandingkan karakteristik arus, tegangan dan kecepatan motor pada frekuensi yang berubah-ubah antara eksperimen dan simulasi khususnya pada kondisi tanpa beban.

Single-Phase Induction Motor Speed Control Through a PIC Controlled Sinusoidal PWM Inverter - The Mathematical Model and Various Load Conditions

B. S. Cunha, MSc. J.R. Camacho, PhD (IEEE Member) C.A. Bissochi Jr., MSc

Abstract— The aim of this paper is to study the performance of single-phase PIC (programmable integrated circuit) controlled sinusoidal PWM inverter driving a single-phase induction motor (with starting capacitor) at various load conditions (3/4 of load and full load). The control was implemented in such a way that it is allowed the change in the speed via a PIC. The attractiveness of this solution is the elimination of a microcomputer to generate sinusoidal PWM pulses. The PIC is able to store all commands to generate the necessary waveforms to control the amplitude and time of such pulses for the inverter.

Keywords— speed control, single-phase, induction motor.

I. INTRODUCTION

Semiconductors available nowadays, as: power bipolar junction transistors (BJT's), field effect transistors (MOSFET's), thyristor switches (GTO's), etc ..., are in use substituting the relays, magnetic switches and other magnetic components in the motor control systems, whether in AC or DC.

Attempting to comply with recommendations and power quality standards, researchers came to a consensus to propose static converters presenting high power factor and low harmonic distortion when observed from the primary source.

A power system is a combination of an ac source, an inverter and measurement equipment able to control speed and position of an induction motor. Considering the power systems where the speed and position are controlled, an electronic power converter is necessary as an interface between the power input and the motor.

The micro-controllers, especially the ones from the "PIC" family, were developed to make the design of controllers simpler, more reliable and the most important, to reduce their dimensions. Only one component can perform the function of a whole circuit, being dependent on the project to be implemented and the task to be accomplished.

Specifically in this case, when the task is to generate PWM pulses to the induction motor speed control, only one micro-controller can be used, with no need for a serial connection with a microcomputer, where the PWM pulses can also be generated. The pulses are then generated by a small standalone programmable integrated circuit embedded in the converter system.

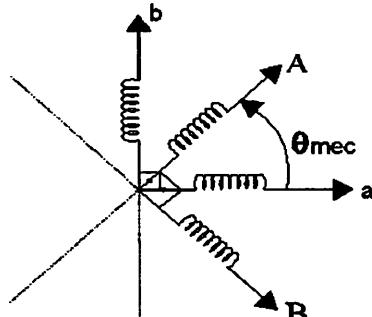


Figure 1 – Single-phase induction motor phase diagram.

II. MATHEMATICAL MODELING - THE SINGLE-PHASE INDUCTION MOTOR IN THE PHASE REFERENCE FRAME.

The single-phase induction motor mathematical model development require the following initial considerations: the induction motor magnetic circuit is considered linear; magnetomotive forces have a sinusoidal distribution; the air-gap is considered uniform and core losses are neglected; induction motor considered in this work has two windings, auxiliary and main windings.

Phase diagram for the single-phase can be seen in Figure 1, where the indexes "a" and "b" represent the stator phases and "A" and "B" represents the rotor phases, conveniently displaced $\pi/2$ electrical degrees.

work was supported in part by FAPEMIG - Research Foundation - Minas Gerais State - Brazil.

Cunha did his masters degree at Electrical Eng. - UFU - Brazil. Camacho is at the School of Electrical Engineering, Universidade Federal de Uberlândia, P.O. Box: 593, Uberlândia, MG 3902 Brazil (e-mail: jrcamacho@ieee.org).

Bissochi Jr. is a doctoral student at Electrical Eng. - UFU -

or Voltage Equations.

$$= R_a \cdot i_a + L_{aa} \cdot \frac{di_a}{dt} + L_{aA} \cdot \cos\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot \frac{di_A}{dt} - \\ L_{aA} \cdot \frac{p}{2} \cdot \sin\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_A \cdot \frac{d\theta_{mec}}{dt} - L_{aB} \cdot \\ n\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot \frac{di_B}{dt} - \frac{p}{2} \cdot L_{aB} \cdot \cos\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_B \cdot \\ \frac{d\theta_{mec}}{dt}$$
(1)

$$= R_b \cdot i_b + L_{bb} \cdot \frac{di_b}{dt} + L_{bA} \cdot \sin\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot \frac{di_A}{dt} - \\ L_{bA} \cdot \frac{p}{2} \cdot \cos\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_A \cdot \frac{d\theta_{mec}}{dt} - L_{bB} \cdot \\ \cos\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot \frac{di_B}{dt} - \frac{p}{2} \cdot L_{bB} \cdot \sin\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_B \cdot \\ \frac{d\theta_{mec}}{dt}$$
(2)

or Voltage Equations.

$$= R_A \cdot i_A + L_{AA} \cdot \frac{di_A}{dt} + L_{Aa} \cdot \cos\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot \frac{di_a}{dt} - \\ L_{Aa} \cdot \frac{p}{2} \cdot \sin\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_a \cdot \frac{d\theta_{mec}}{dt} - L_{Ab} \cdot \\ \sin\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot \frac{di_b}{dt} - \frac{p}{2} \cdot L_{Ab} \cdot \cos\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_b \cdot \\ \frac{d\theta_{mec}}{dt}$$
(3)

$$= R_B \cdot i_B + L_{BB} \cdot \frac{di_B}{dt} + L_{Ba} \cdot \sin\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot \frac{di_a}{dt} - \\ L_{Ba} \cdot \frac{p}{2} \cdot \cos\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_a \cdot \frac{d\theta_{mec}}{dt} - L_{Bb} \cdot \\ \cos\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot \frac{di_b}{dt} - \frac{p}{2} \cdot L_{Bb} \cdot \sin\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_b \cdot \\ \frac{d\theta_{mec}}{dt}$$
(4)

acitor Equations.

$$i_b = C \cdot \frac{dv_{cap}}{dt}$$
(5)

$$v_{cap} - \frac{1}{C} \cdot \int i_b dt = 0$$
(6)

$$v = v_{cap} + v_b = v_a$$
(7)

D. Co-Energy Equation.

$$W' = W'_a + W'_b + W'_A + W'_B$$
(8)

where we have:

$$W'_a = L_{aa} \cdot \frac{i_a^2}{2} + L_{aA} \cdot \cos\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_A \cdot i_a - \\ - L_{aB} \cdot \sin\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_B \cdot i_a$$
(9)

$$W'_b = L_{bb} \cdot \frac{i_b^2}{2} + L_{bA} \cdot \sin\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_A \cdot i_b - \\ - L_{bB} \cdot \cos\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_B \cdot i_b$$
(10)

$$W'_A = L_{AA} \cdot \frac{i_A^2}{2}$$
(11)

$$W'_B = L_{BB} \cdot \frac{i_B^2}{2}$$
(12)

E. Torque Equation.

$$T_C = -\left(\frac{p}{2}\right) \cdot \left[L_{aA} \cdot \sin\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_A + L_{aB} \cdot \right. \\ \left. \cdot \cos\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_B \right] \cdot i_a + \left(\frac{p}{2}\right) \cdot \left[L_{bA} \cdot \cos\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot \right. \\ \left. i_A - L_{bB} \cdot \sin\left(\frac{p}{2} \cdot \theta_{mec}\right) \cdot i_B \right] \cdot i_b - J \cdot \frac{d\omega}{dt} - B \cdot \frac{d\theta}{dt}$$
(13)

F. Speed Equation.

$$0 = -\omega + \frac{d\theta_{mec}}{dt}$$
(14)

III. SINGLE-PHASE CONVERTER DEVELOPMENT WITH SINUSOIDAL PWM CONTROL.

The converter under scrutiny was split in three stages:

1st → Power circuit;

2nd → Control Circuit I also called PWM Pulse Generator Circuit;

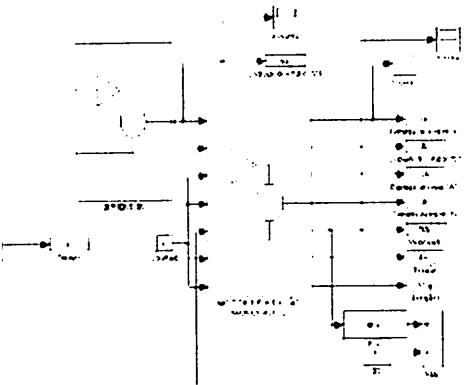
3rd → Control Circuit II also called Dead Band and Gate Attack Circuit.

The detailed model of the converter is described in an associated paper [06].

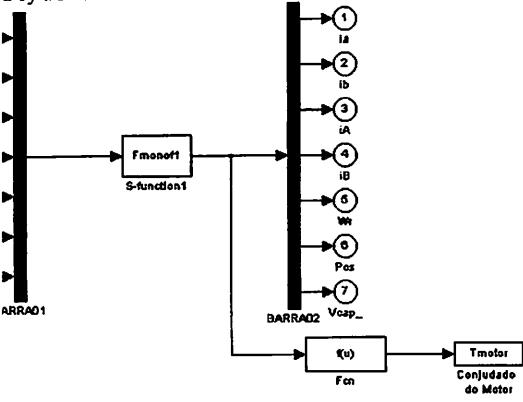
IV. COMPUTATIONAL SIMULATION

The simulation software used was the SIMULINK environment from MATLAB 5.2.

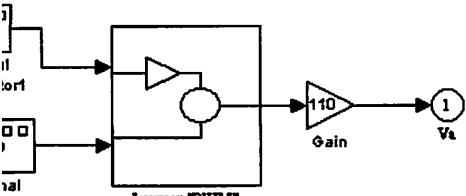
Figures 2 to 5 illustrate the mathematical model for the SIMULINK environment.



- Single-phase induction motor model (with starting capacitor) d by a sinusoidal PWM inverter in the SIMULINK environment.



- Internal block: single-phase induction motor.



- Inverter: block internal view.

V -EXPERIMENTAL TESTS

single-phase induction motor speed control was done open loop scheme, voltage and frequency control one manually at this stage. Current waveform data was acquired through a Hall sensor, with a "V x I" relationship of 1/2, i.e., for Volt shown in the scale we have 2 Ampere as current.

TABLE I
VOLTAGE AND FREQUENCY VALUES (110 V)

rol Voltage	Fundamental Period	Fundamental Frequency	Motor Voltage
90 V _{dc}	32,8 ms	30,50 Hz	56,0 V _{ac}
75 V _{dc}	28,4 ms	35,21 Hz	65,0 V _{ac}
60 V _{dc}	24,0 ms	41,67 Hz	76,0 V _{ac}
55 V _{dc}	22,2 ms	45,05 Hz	83,0 V _{ac}
50 V _{dc}	20,4 ms	49,02 Hz	90,0 V _{ac}
40 V _{dc}	18,2 ms	54,95 Hz	101,0 V _{ac}
35 V _{dc}	16,4 ms	60,98 Hz	112,0 V _{ac}

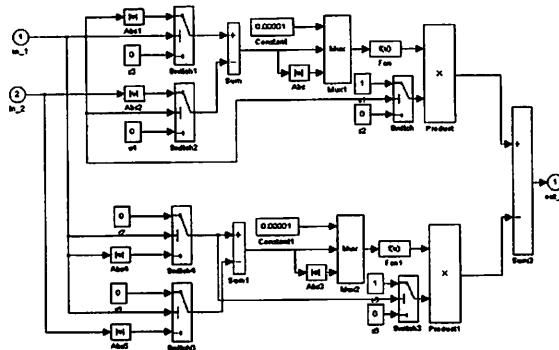


Figure 5 – PWM Inverter: block internal view.

A. Test bench scheme

The block diagram referred to the bench connections can be shown in Figure 6.

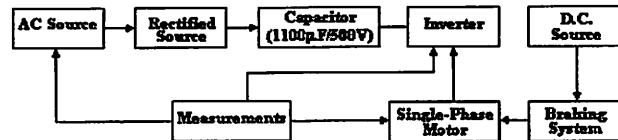


Figure 6 – Block diagram for test bench connections.

The name plate data for the single-phase induction motor is given by:

- ✓ Maker: WEG
- ✓ Service Factor : 1,25;
- ✓ Model: C560684;
- ✓ Insulation: B;
- ✓ Power: 0,5 HP;
- ✓ I_p/I_N : 6,8;
- ✓ Frequency: 60 Hz;
- ✓ Service Regimen: 1;
- ✓ Voltage: 110/220 V;
- ✓ Capacitor: 270/324μF
- ✓ Current: 8,4/4,2 A

To make all the experimental tests, the firstly performed tests were the ones made with the control circuit. This strategy was chosen in order to obtain the relationship between values of voltage and fundamental frequency, to be applied to the motor, since such values should be increased or decreased linearly, keeping constant the $V \times f$ relationship, this strategy will avoid torque disturbances. Table 1, shows such values, and also the control voltage values (controlled through the potentiometer) applied to the micro-controller and the fundamental period; for a feeding voltage of 110 Volts ac.

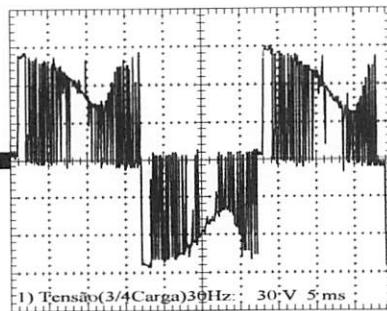
VI. SIMULATION AND EXPERIMENTAL RESULTS

This section shows the comparison between simulation and experimental results performed respectively in sections IV and V.

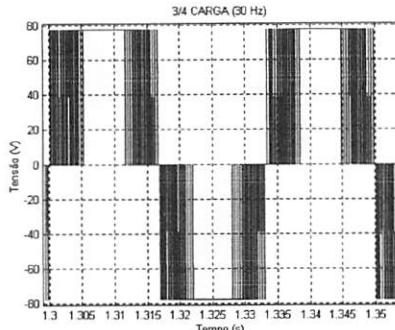
A section only to compare such results is explained by the fact that, in experimental tests were observed a strong influence of motor inductance in the converter, more

y, in the power system ("full bridge" inverter). In the simulation such influence was not considered, and also non-linearity and additional losses.

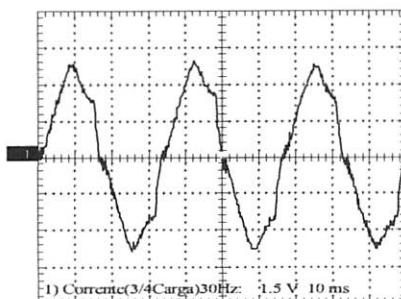
Results comparison – "Load at 3/4"



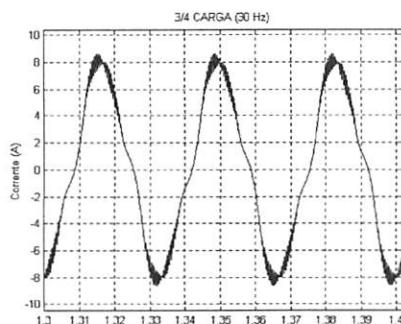
– Voltage for load at 3/4 - fundamental frequency at 30 Hz (experimental) – $V_{rms} = 54.8 \text{ V}_{ac}$.



– Voltage for load at 3/4 - fundamental frequency at 30 Hz (simulation) – $V_{rms} = 55.0 \text{ V}_{ac}$.



– Current for load at 3/4 - fundamental frequency at 30 Hz (experimental) – $I_{rms} = 5.96 \text{ A}$.



– Current for load at 3/4 - fundamental frequency at 30 Hz (simulation) – $I_{rms} = 6.08 \text{ A}$.

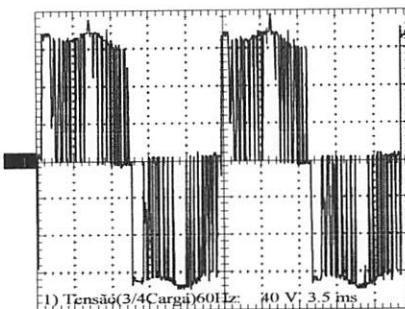


Figure 11 – Voltage for load at 3/4 - fundamental frequency at 60Hz (experimental) – $V_{rms} = 108.0 \text{ V}_{ac}$.

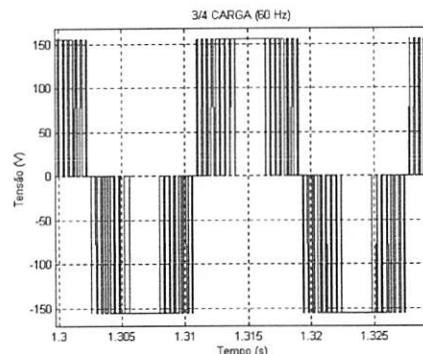


Figure 12 – Voltage for load at 3/4 - fundamental frequency at 60Hz (simulation) – $V_{rms} = 110.0 \text{ V}_{ac}$.

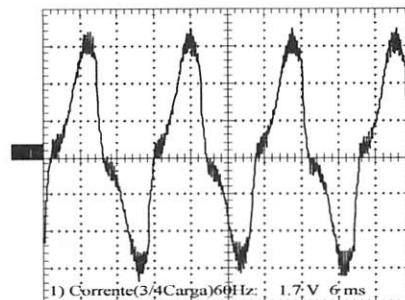


Figure 13 – Current for load at 3/4 - fundamental frequency at 60 Hz (experimental) – $I_{rms} = 6.5 \text{ A}$.

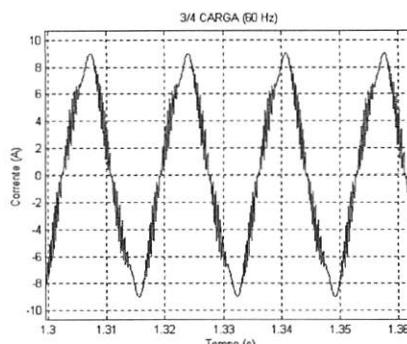


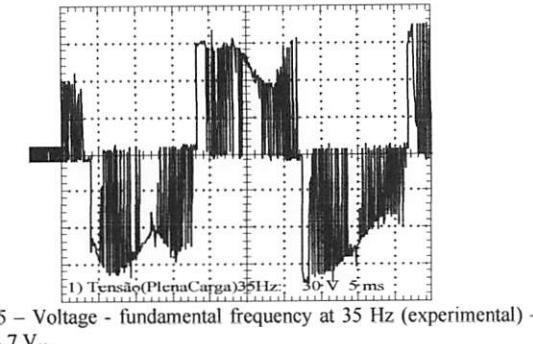
Figure 14 – Current for load at 3/4 - fundamental frequency at 60Hz (simulation) – $I_{rms} = 6.38 \text{ A}$.

Comparison between angular speeds for experimental and simulation tests for load at 3/4 are shown in Table 2.

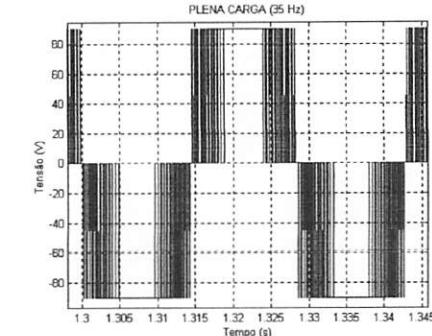
TABLE 2
COMPARISON: ANGULAR SPEEDS.

Load at 3/4		
Fundamental Frequency	Experimental	Simulation
30.	90,06	93,51
35.	109,96	109,86
40.	125,66	125,55
45.	141,37	141,23
50.	160,22	160,01
55.	176,98	172,52
60.	187,45	188,14

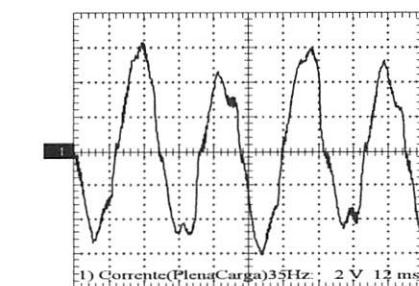
Its Comparison – "Full Load"



5 – Voltage - fundamental frequency at 35 Hz (experimental) – 7 V_{ac}.



6 – Voltage - fundamental frequency at 35 Hz (simulation) V_{rms} =



7 – Current - fundamental frequency at 35 Hz (experimental) – A.

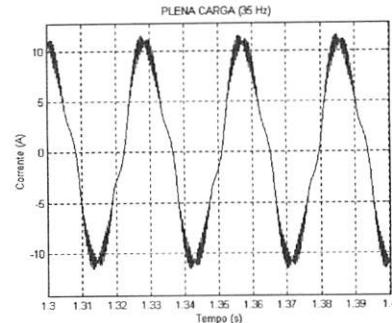


Figure 18 – Current - fundamental frequency at 35 Hz (simulation) – I_{rms} = 8,16 A.

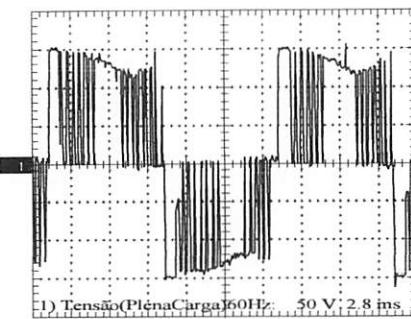


Figure 19 – Voltage - fundamental frequency at 60 Hz (experimental) – V_{rms} = 110,0 V_{ac}.

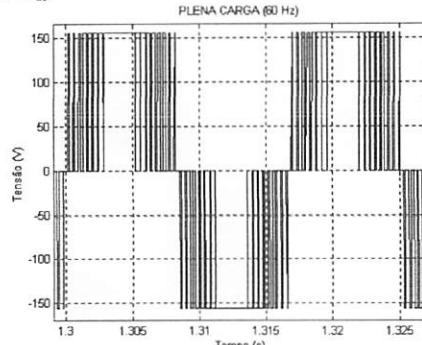


Figure 20 – Voltage - fundamental frequency at 60 Hz (simulation) V_{rms} = 110,0 V_{ac}

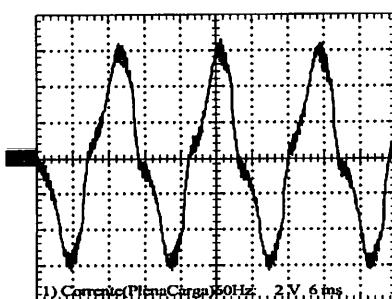
Comparison between angular speeds from experimental and simulation tests are shown in Table 3.

VII. CONCLUSIONS

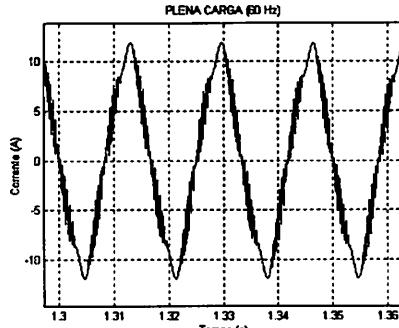
The main task in this work, is to make a compact open-loop sinusoidal PWM inverter to control the speed of an small single-phase induction motor. This compact inverter had its hardware reduced to a minimum through the use of a programmable integrated circuit (PIC) micro-controller (PIC16C73A). In this sense a microcomputer interface was avoided. One of the difficulties was the lack of information on the most efficient control logic in this case and its objectives. One of the reasons was that the use of a PIC in such applications is very recent, the other reason is the lack of importance in the industry's opinion of the single-phase controllers when compared with three-phase control systems.

TABLE 3
ANGULAR SPEED COMPARISON.

Fundamental Frequency	Experimental	Simulation
35,0 Hz	99,48 rad/s	108,93 rad/s
40,0 Hz	116,24 rad/s	124,72 rad/s
45,0 Hz	137,18 rad/s	140,46 rad/s
50,0 Hz	150,80 rad/s	159,28 rad/s
55,0 Hz	167,55 rad/s	174,96 rad/s
60,0 Hz	178,02 rad/s	187,51 rad/s



1– Current - fundamental frequency at 60 Hz (experimental) – 2A.



2 – Current fundamental frequency at 60 Hz (simulation) – $I_{\text{rms}} =$

In experimental tests, some problems never occurred before during the converter design were under study. The main problem was the influence of the motor resonance in the power system[03]. Such influence can be seen in the "no-load" test results[06], a strong delay in the switches conduction period. This is explained by the fact, when the transition occurs between positive to negative semi-cycle switches, the induction motor unloads the transient inductance effect over the switches. The control logic was for a three-level inverter[04], a loss of pulses was observed. Further work should be done to implement a more efficient control logic to avoid this effect.

Tests were made with switching frequencies of 10kHz, 4 and 2.5kHz; the best results were obtained with 2.5kHz. It must be mentioned that for the three-level logic, the loss of pulses increased with the switching frequency.

For some experimental results the loss of symmetry was observed in the induction motor current. This result was obtained due to the lack of precision of the linear, single turn potentiometer being used. This fact didn't allow us to get unitary increments or decrements in the fundamental frequency. Therefore, the induction motor was driven initially at 60Hz and 110 V_{ac}, and had its speed gradually decreased, in some cases the speed had unexpected decreases, these occurrences made the induction motor transfer a great deal of this deceleration energy to the converter.

After done all the comparisons between experimental and simulation tests, few conclusions can be withdrawn from such observations, the experimental results closer to simulation were the "full load tests". This can be explained by the logical fact that the full load tests displays a higher active power consumption. Therefore reactive power (the high inductive effect of the motor) is percentile small in this case when compared with no-load tests.

It is important to mention also that even in the "no-load" experimental tests, the motor speed was measured many times along the motor operating cycle and no substantial speed variation was noticed.

VIII. BIBLIOGRAPHY

- [01] Microchip, Technical Library, First Edition, 1997.
- [02] C. A. Bissochi Jr. – "Experimental and Theoretical Analysis of an Induction Motor Steady State Performance with Controlled Currents", Master's Dissertation, UFU, School of Electrical Engineering, Uberlândia, MG, Brazil, October 1997 (In Portuguese).
- [03] R. Valentine, "Motor Control Electronics Handbook", McGraw-Hill Co., New York, 1998.
- [04] M. H. Rashid, "Power Electronics, Circuits Devices and Applications, 2nd Edition, Prentice-Hall International, Inc., New Jersey, 1993.
- [05] B. S Cunha, "Single-Phase Induction Motor Speed Control Through a PIC Controlled Sinusoidal PWM Inverter", Master's Dissertation, UFU, School of Electrical Engineering, Uberlândia, MG, Brazil, July 2000 (In Portuguese).
- [06] B.S. Cunha, J.R. Camacho & C.A. Bissochi Jr., "A Single-Phase PIC Controlled Sinusoidal PWM Inverter", paper submitted to the Science & Engineering Journal, Uberlândia, MG, Brazil.



ENGINEERING DATA

Aerovent • TC Ventco • Fiber-Aire • Twin City Fan & Blower • TC Axial • Clarage

Single-Phase AC Induction Squirrel Cage Motors

Introduction

with the electric motor where a method of converting electrical energy into mechanical energy to perform some physical task or work is possible. The electric motor is by far the most common method for powering a ventilating fan system. There are many classifications of motor types available, but this paper will focus on single-phase AC induction squirrel cage motors which is where the largest number of motors are utilized in ventilation.

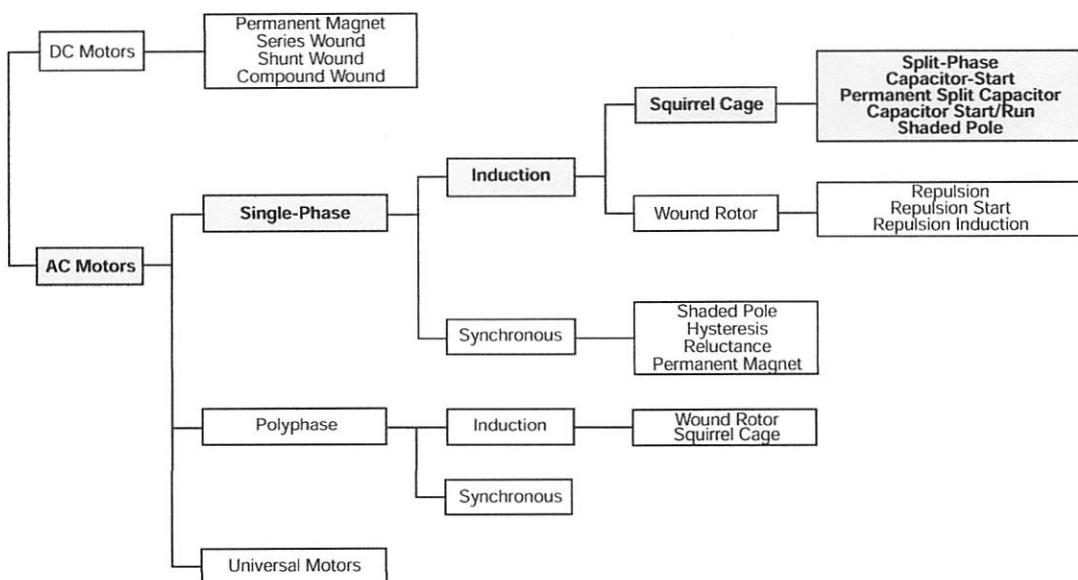
In the following pages the basic operation and types of single-phase induction motor types will be covered. This paper will focus on the electrical arrangement inside the motor housing, discuss the principles governing motor design, and help the user understand what can and cannot be done with the motor in terms of power and electrical con-

Figure 1 is a listing of the basic motor classifications.

Index

Introduction – Motor Classifications	1
Basic Principles	2
AC Motor Fundamentals	2
Motor Stator	2
Motor Rotor	3
Magnetic Field for Single-Phase Motors	3
Motor Starting for Single-Phase Motors	3
Motor Speed-Torque Curves	4
Motor Efficiency	4
Split-Phase Motors	5
Capacitor-Start Motors	6
Permanently Split Capacitor Motors	7
Capacitor Start-Capacitor Run Motors	8
Shaded Pole Motors	9
Summary	10

Figure 1. Electric Motor Classifications by Electrical Type



AC Induction Motor Fundamentals

Principles

To understand how the single-phase AC induction motor works a basic understanding of the physical principles governing motor design and operation is required. We will start with the basic principle on which an induction motor is able to convert electrical energy into mechanical energy.

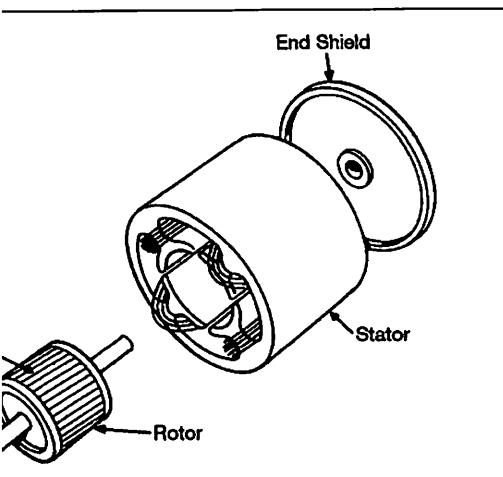
The basic operation of an AC induction motor is based on electromagnetic principles:

• flow in a conductor will create a magnetic field around the conductor, and,

• if a conductor is moved through this magnetic field, current will be induced in the conductor and it will create its own magnetic field.

A typical single-phase AC induction motor consists of basic parts (see Figure 2).

Basic Components of a Single-Phase AC Induction Motor



The stator is constructed of a set of stacked laminations which are surrounded by a stator winding. This winding is connected to the proper power supply (voltage, phase and frequency) and produces a magnetomotive force that revolves around the motor at a speed designated "synchronous."

The rotor is connected to the output shaft and consists of a shorted aluminum winding which is cast onto and stacked and joined at both ends of the rotor with end rings. The rotor acts as a conductor which is placed in the magnetic field of the stator winding and creates a magnetic field of its own and interacts with the magnetic field of the stator, producing torque.

The first principle applies to the magnetic field created by the stator and the second applies to the rotor as it rotates in the stator field.

As we cover the characteristics of the various motor types, it may be useful to review in detail the basic electromagnetic principles which enable the induction motor to convert electrical energy into a mechanical output through the motor shaft. We will start by taking a look into the two basic components (stator and rotor) of single-phase AC motors. In the following section we will discuss their construction and the fundamental principles of their operation.

Stator

Whenever current flows in a conductor, a magnetic field is built up around it (Figure 3). If the conductor is formed into a coil, the magnetic field created is similar to that of a permanent bar magnet (Figure 4). If a bar of magnetic material such as iron or steel is placed within the coil, the magnetic field is strengthened because these materials transmit magnetic flux much more readily than air.

Figure 3. Magnetic Field Surrounding Conductor

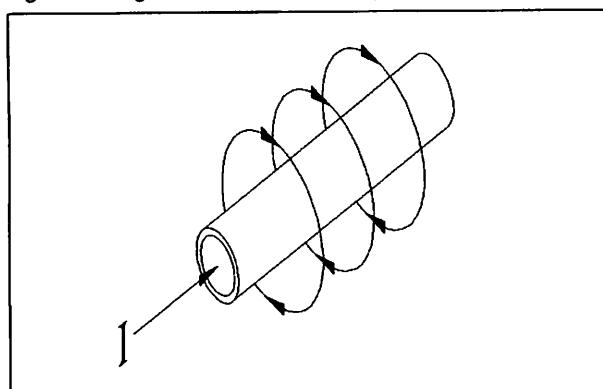


Figure 4. Magnetic Field Produced by a Simple Coil with Permanent Magnet

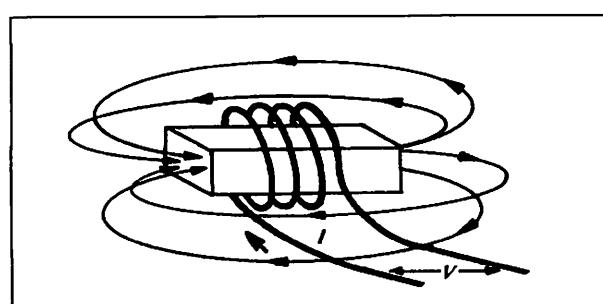
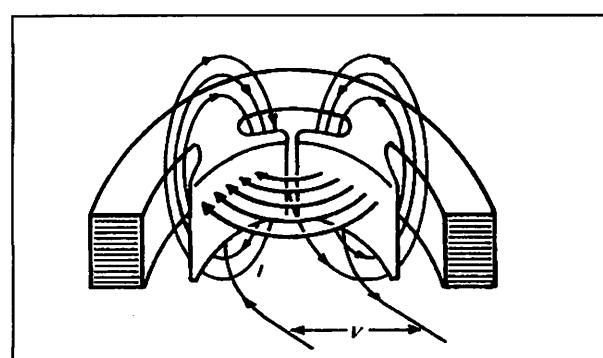


Figure 5 is a view of one half of a four pole stator. The placement of the coils resembles the relative positioning of the coil and bar of Figure 4 and the resulting magnetic fields are also similar. By reversing the direction in which one coil is wound in the stator relative to the adjacent coil, the direction of current flow is reversed, as illustrated in Figure 5. This reversal in the direction of current flow also changes the magnetic polarity, creating adjoining north and south poles in the stator.

Figure 5. Flux Patterns Produced in Stator

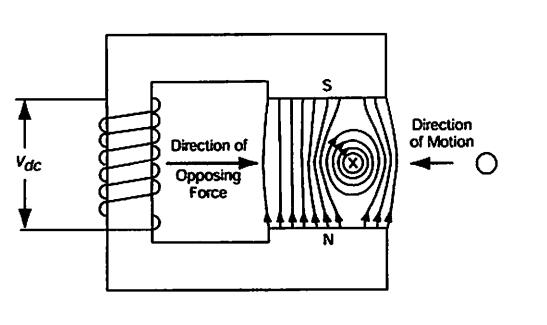


the completed stator, a magnetic field is created having north and south poles. The number of magnetic poles in the stator, together with the AC line frequency determines the speed at which the motor will operate.

or

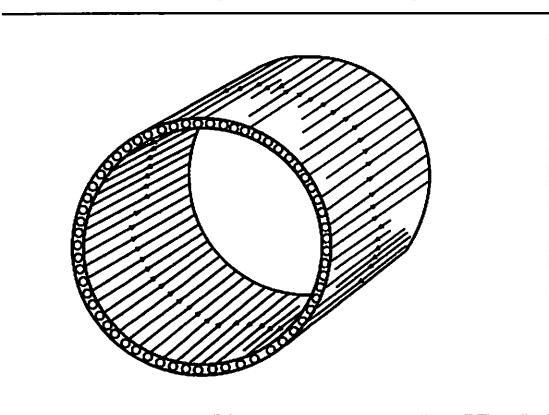
conductor is moved between the faces of a horseshoe magnet (Figure 6), a voltage is induced in that conductor, the conductor forms part of a completed circuit, current will flow. The action which produces this voltage and current is the cutting of the magnetic field (called lines of magnetic flux) by the conductor. This current flow within the conductor will in turn produce a magnetic field, as seen in Figures 3 and 6. The interaction of these two magnetic fields creates a mechanical force on the wire which is the basis for the production of torque.

Figure 6. Elements of Motor Action



In an induction motor, the single conductor of the previous example is replaced by the rotor winding. In small motors, this winding is normally of cast aluminum and consists of multiple conductors, or rotor bars, cast into the slots of the rotor core and joined at both ends of the stack with rings. The resulting rotor winding circuit is illustrated in Figure 7, and as can be seen from this figure, the name has been designated as "squirrel cage rotors."

Figure 7. Representation of Voltage-Current Paths (and Strengths) in Squirrel Cage Rotor



As a rotor turns, the rotor bars cut through the flux lines of the stator magnetic field and voltages and currents are induced in each bar. The magnitude of the voltage and current in a given bar will depend on the magnetic density of the stator field which the rotor bar is passing through at that time. Because the strength of the stator field varies around the circumference, being strongest at each pole, the voltages

and currents induced in the rotor bars will also vary around the rotor. Figure 7 illustrates the directions and magnitudes of a typical rotor bar current pattern. The magnetic field built up around each bar reacts with the stator flux, exerting a force on each bar in the same manner as previously described in the example of the horseshoe magnet and simple conductor. The sum total of all forces acting on all rotor bars is the output torque of the motor.

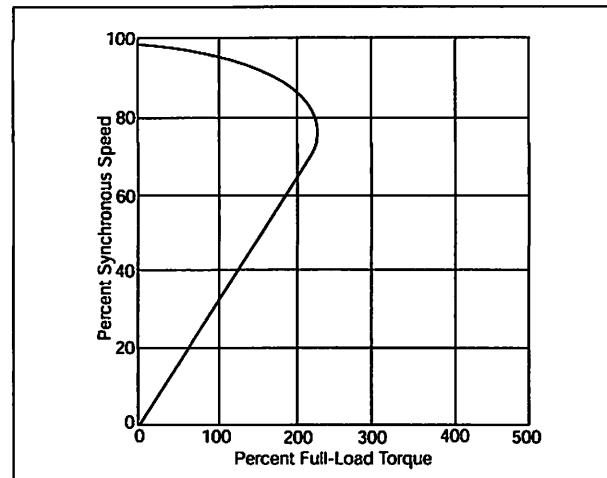
Magnetic Field for Single-Phase Motors

In order for the rotor to move, the stator must produce a rotating magnetic field. With a single source of AC voltage connected to a single winding, this is not possible. A stationary flux field is created which pulsates in strength as the AC voltage varies, but it does not rotate. This pulsating field strength is what simulates a rotating field and gives the rotor its rotation. If a stationary rotor is placed in this single-phase stator field, it will not rotate, but if the rotor is spun by hand, it will pick up speed and run. The single-phase motor will run (in either direction) if started by hand, but it will not develop any starting torque as illustrated in Figure 8.

Motor Starting for Single-Phase Motors

What is needed is a second (start) winding, with currents out of phase with the original (main) winding, to produce a net rotating magnetic field. The various single-phase motor designs differ in the type of secondary (start) winding employed. These start windings, which together with other components such as capacitors, relays and centrifugal switches, make up the starting circuit, provide varying effects on motor starting and running characteristics.

Figure 8. Speed-Torque Characteristics of Single-Phase, Single Main Winding Only Motor



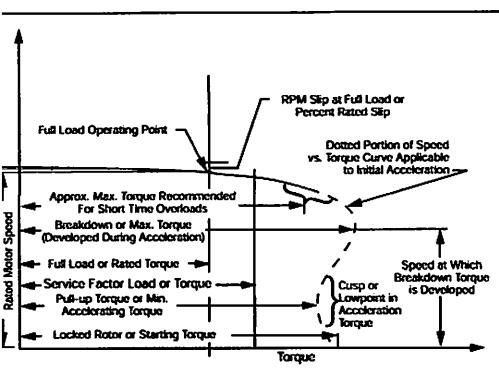
Two basic mathematical models best reveal two important facts about single-phase motors:

1. The performance characteristics of single-phase motors can approach, but will not exceed that of the two-phase polyphase motors.
2. The torque produced at a given RPM is not constant, but pulsates at twice the line frequency around a median value. These torque pulsations are inherent to all single-phase motors and can cause noise and vibration problems if not properly isolated.

Speed-Torque Curves

ing what motor is necessary for the application is through examining motor speed-torque curves. There is information on a speed-torque curve to tell the end user if the motor will operate satisfactorily for the intended application. The speed-torque curve will allow the user to determine if the motor has enough starting torque to overcome the load, to accelerate the load to full running speed, and handle the maximum overload expected. See Figure 10 for a typical speed-torque curve.

Typical Motor Speed-Torque Curve



There are many torques that can be obtained from a speed-torque curve:

1 Rotor (Starting) Torque — Motor torque at zero speed.

2 Torque — Lowest torque value between zero and full speed.

3own Torque — Maximum torque without motor rotation.

4ad Torque — Torque produced by motor at full operating point.

Further reference to the five types of single-phase AC motors, reference to the speed-torque curves will help to understand each motor type and its operating characteristics.

Efficiency

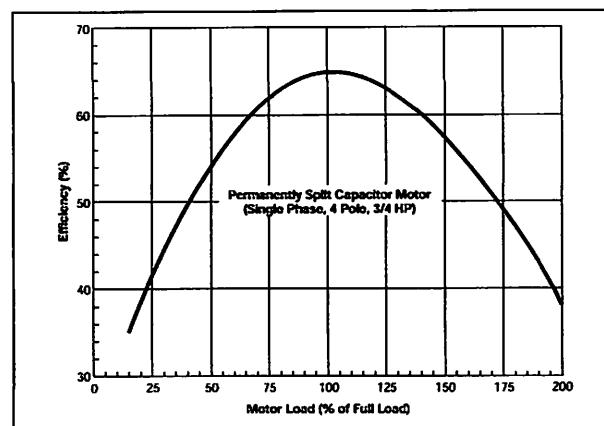
Base AC induction squirrel cage peak motor efficiency range from as low as 30% to as high as 65%, depending on the motor type and design. Motor efficiencies depend on the actual motor load versus rated load. Refer to Figure 10.

The best motor for the job is often suggested by the load. Motor efficiency usually is greatest at the rated load and falls off rapidly for under and overloaded loads as can be seen in Figure 10.

A misconception that a motor running well below its rated load rating will run cooler and more efficiently is oversizing. AC motors reduces efficiency by a substantial amount, causing a larger part of the input energy to be wasted as heat. On the other end of the scale, over-sized motors is a much better understood concept as over-sizes indicate a poor motor selection (reduced current draw, tripped motor overloads). The amount of electrical power wasted can be reduced by a careful application of a motor to the actual load. It is best to run an AC single-phase squirrel cage motor

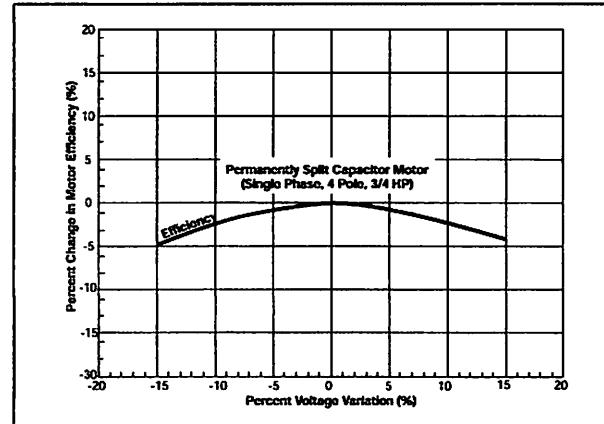
at no less than 75% full load and no greater than 125% full load from an efficiency standpoint. Again, motor efficiency is greatest near its full load rating.

Figure 10. Motor Efficiency vs. Motor Load



Another design criteria affecting motor efficiency is operating voltage. Motors are generally designed to operate at a given rated voltage, with a plus and minus tolerance (10% is typical). Within the tolerance level, efficiency generally increases for higher voltages, but decreases for lower voltages. The decrease is due to greater I^2R losses (because of the substantial length of wire required in the winding, this results in I^2R losses because of the principle that the wire resistance increases with its length). Low operating voltage also reduces torque, which decreases as the square of the voltage. Refer to Figure 11.

Figure 11. Effect of Voltage on Motor Efficiency

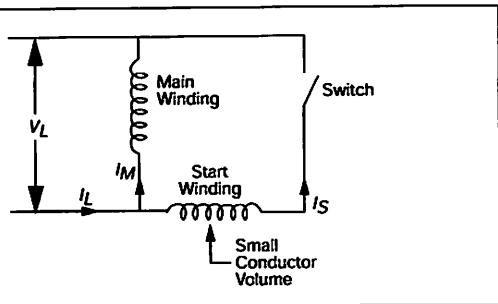


Beyond these considerations, the motor design determines its efficiency. There are several ways to reduce power losses in the motor. One is to reduce losses in the core, either by adding more material to the magnetic core structure or by using a steel with improved core-loss properties. Another method is to increase the cross-sectional area of conductors to reduce resistance. This means that additional winding material must be added to the stator and rotor. Another alternative is to shorten the air gap between the rotor and stator to reduce the magnetizing current required. A final method used is to simply add more material to the magnetic core which will reduce the amount of current required to magnetize the core.

Split-Phase Motors (SP)

Figure 12 illustrates schematically the winding arrangement of a typical distributed winding arrangement of a split-phase motor. A split-phase motor's components are a main winding, start winding and a centrifugal switch.

Figure 12. Winding Schematic for SP Motor

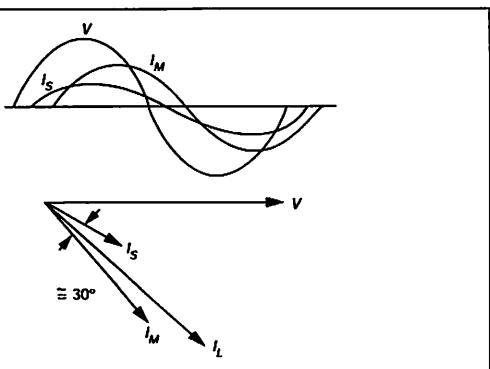


The main (run) winding is designed for operation from synchronous speed and above. The main winding is such that the current lags behind the line voltage. As the coils embedded in the steel stator naturally set up a strong magnetic field which slows the buildup of current in the winding. This relationship between the line voltage and line current is shown in Figure 13.

The start winding is not wound identically to the main, contains fewer turns of much smaller diameter wire than the main winding coils. This is required to reduce the current in the start current lags the voltage. This can also be seen in Figure 13.

When both windings are connected in parallel across the line, the main and start winding currents will be out of phase by about 30 degrees. This forms a sort of imitation of a weak rotating flux field which is sufficient to provide a large amount of torque at standstill and start the motor.

Figure 13. Phase Relationships (SP Motor)



The total current that this motor draws while starting is the vector sum of the main and start winding currents. Because of the small angle between these two, the line current during starting (inrush current) of split-phase motors is quite high. Also the small diameter wire in the start winding carries a high current density, so that it heats up very rapidly. A centrifugal switch mechanism (or relay) must be provided to disconnect the start winding from the circuit once the motor has reached an adequate speed to allow running on the main winding only. Figure 14 illustrates the speed-torque relationship of a typical split phase motor on both the running and starting connection. Table 1 summarizes the split-phase motor characteristics.

Figure 14. General Performance Characteristic (SP Motor)

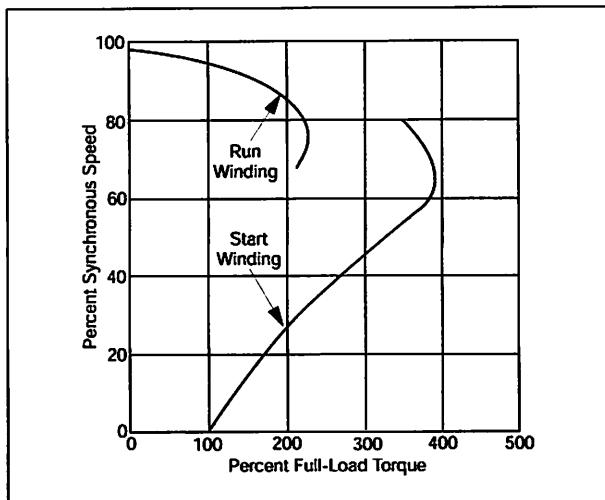


Table 1. Summary of Split-Phase Motor Characteristics

CHARACTERISTIC	NOTES
Peak Efficiency	50 to 60%
Power Factor	60 to 70%
Starting Torque	100% Full Load Torque
Noise & Vibration	120 Hz Torque Pulsations
Components	Contains Centrifugal Switch
Other	High Inrush Starting Current
Cost	Moderate

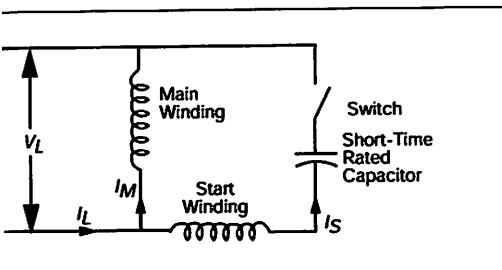
Capacitor-Start Motors (CSIR)

illustrates schematically the winding arrangement of a capacitor-start motor. It should be noted that the capacitor-start motor has the same winding arrangement as the split-phase motor, but adds a capacitor in series with the start winding. The circuit diagram of this capacitor is shown in Figure 16. The main current remains the same as in the split-phase motor, but the start winding current is very much different. With the addition of a capacitor in the circuit, the starting current now lags the line voltage, rather than lagging as does the main current. The start winding is also different, containing more turns in its coils than the main winding and utilizing diameters only slightly smaller than those of the

The new result is a time phase shift closer to 90 degrees than with the split-phase motor. A stronger rotating field is therefore created and starting torque is higher than with the split-phase design. Also the vector sum of the main and start winding currents is lower, resulting in a reduction in the inrush current as compared to the split-phase design. Refer to Figure 16.

The starting and running speed-torque characteristic of a capacitor-start motor is illustrated in Figure 17. Again, a centrifugal switch and mechanism (or relay) must be used to protect the start winding and capacitor from overheating. When the capacitor-start motor is running near full load RPM, its performance is identical to that of the split-phase motor. Table 2 summarizes the capacitor-start motor characteristics.

Winding Schematic for CSIR Motor



Phase Relationships (CSIR Motor)

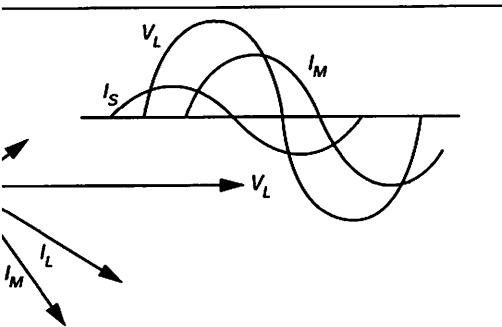


Figure 17. General Performance Characteristic (CSIR Motor)

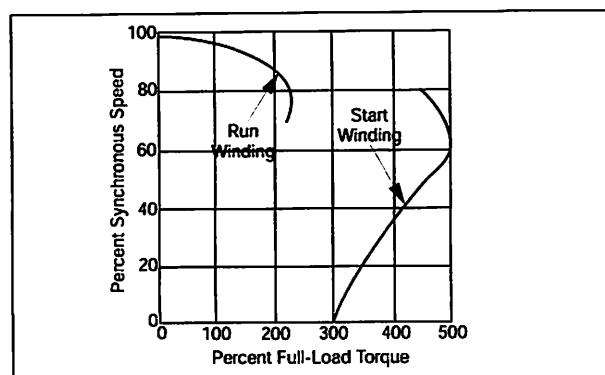


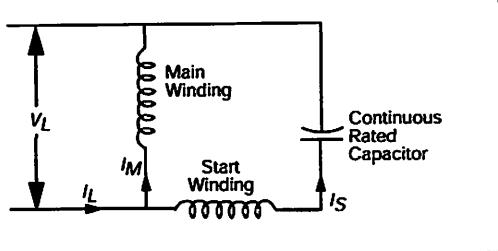
Table 2. Summary of Capacitor-Start Motor Characteristics

CHARACTERISTIC	NOTES
Peak Efficiency	50 to 60%
Power Factor	60 to 70%
Starting Torque	Up to 300% Full Load Torque
Noise & Vibration	120 Hz Torque Pulsations
Components	Contains Centrifugal Switch & Capacitor (Intermittent Duty)
Other	Capacitor Controls Inrush Starting Current (Lower Than Split-Phase Type)
Cost	Slightly Higher Than Split-Phase Type

Permanently Split Capacitor Motors (PSC)

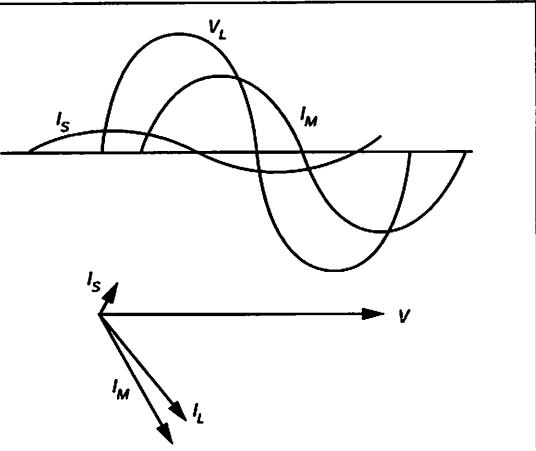
Figure 18 illustrates schematically the winding arrangement of a typical distributed winding arrangement of a permanently split capacitor motor. The windings of the PSC motor are arranged like those of the split-phase and capacitor-start designs, but a capacitor capable of running continuously replaces the intermittent duty capacitor of the capacitor-start motor and the centrifugal switch of both the split-phase and capacitor-start motors. The main winding is similar to the previous designs, current lags the line voltage (refer to Figure 19).

Figure 18. Winding Schematic for PSC Motor



The start winding of a PSC motor is somewhat different than in the capacitor-start design. Because the capacitor for a PSC motor usually has a small rating, it is necessary to increase the capacitor voltage by adding considerably more turns to its coils than are in the main winding coils. Start winding wire size remains somewhat smaller than that of the main winding. The smaller microfarad rating of the capacitor produces more of a leading phase shift and less total start current, so starting torques will be considerably lower than with the capacitor-start design. Refer again to Figure 19.

Figure 19. Phase Relationships (PSC Motor)



However, the real strength of the permanently split capacitor design is derived from the fact that the start winding and capacitor remain in the circuit at all times and produce an approximation of two-phase operation at the rated load point. This results in better efficiency, better power factor, and lower 120 Hz torque pulsations than in equivalent capacitor-start and split-phase designs.

Figure 20 illustrates a typical speed torque curve for a permanently split capacitor motor. Different starting and running characteristics can be achieved by varying the rotor resistance. In addition, by adding extra main windings in series with the original main windings, PSC motors can be designed to operate at different speeds depending on the number of extra main windings energized. It should also be noted that for a given full load torque, less breakdown torque and therefore a smaller motor is required with a permanently split capacitor design than with the other previously discussed designs. Table 3 summarizes the characteristics of the permanently split capacitor design.

Figure 20. General Performance Characteristic (PSC Motor)

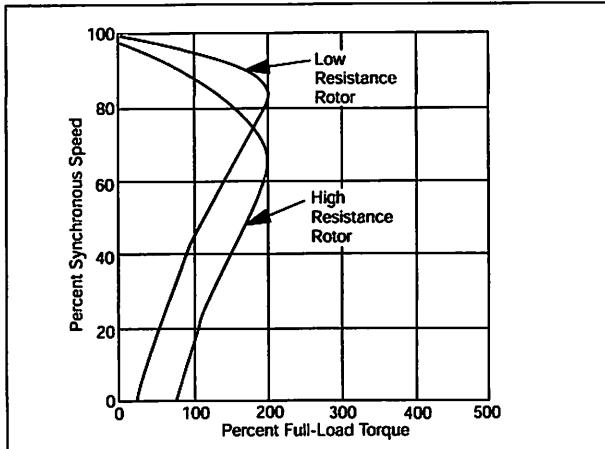


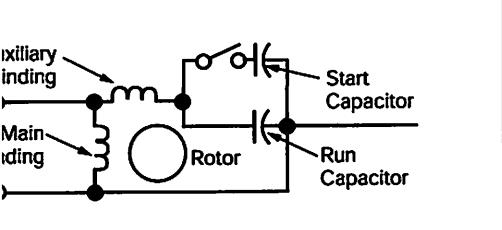
Table 3. Summary Permanently Split Capacitor Motor Characteristics

CHARACTERISTIC	NOTES
Peak Efficiency	55 to 65%
Power Factor	80 to 100%
Starting Torque	50 to 80% Full Load Torque
Noise & Vibration	120 Hz Torque Pulsations Reduced
Components	Contains Capacitor (Continuous Duty)
Other	Can be used with speed control devices (not possible with SP & CSIR types)
Cost	Smallest motor for given output

Capacitor Start-Capacitor Run Motors (CSCR)

illustrates schematically the winding arrangement of a capacitor start-capacitor run motor. These motors have a run capacitor auxiliary winding permanently connected in parallel with the main winding. In addition, a starting capacitor and centrifugal switch are also in parallel with the run winding. The switch disconnects as the motor accelerates. It should be noted that the capacitor start-capacitor run uses the same winding arrangement as the permanent capacitor motor when running at full load speed and the same winding arrangement as a capacitor-starting startup.

Winding Schematic for CSCR Motor



Advantage of the capacitor start-capacitor run is derived from the fact that the start winding and remain in the circuit at all times (similar to PSC motor) and produce an approximation of two-phase torque at the rated load point, plus with an additional capacitor in series with the start winding circuit (similar to capacitor-start type motor), the starting current now has a leading power factor, rather than lagging as does the main winding, dramatically increasing starting torque. Capacitor start-capacitor run motors feature a low running current due to the improved power factor caused by the run capacitor. This results in better efficiency, better power factor, higher starting torque and lower 120 Hz torque pulsations than in equivalent capacitor-start and split-phase motors. The capacitor start-capacitor run motor is basically a combination of the capacitor-start and PSC motor types and is the best of the single-phase motors.

Figure 22 illustrates a typical speed torque curve for a capacitor start-capacitor run motor. With the advantage of combining both the PSC and capacitor-start designs these motors have been extended up to ratings as high as 20 HP, far beyond what the other single-phase motor types are capable.

Table 4 summarizes the characteristics of the capacitor start-capacitor run motor.

Figure 22. General Performance Characteristic (CSCR Motor)

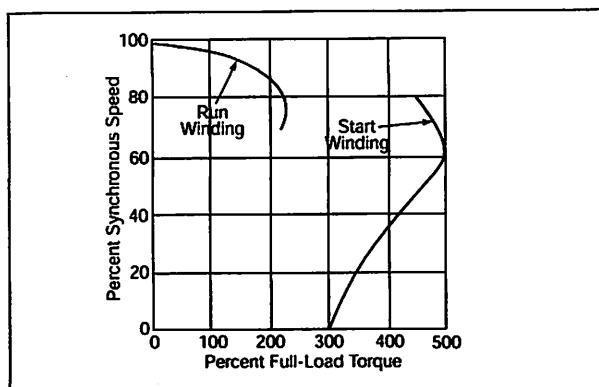


Table 4. Summary Capacitor Start-Capacitor Run Motor Characteristics

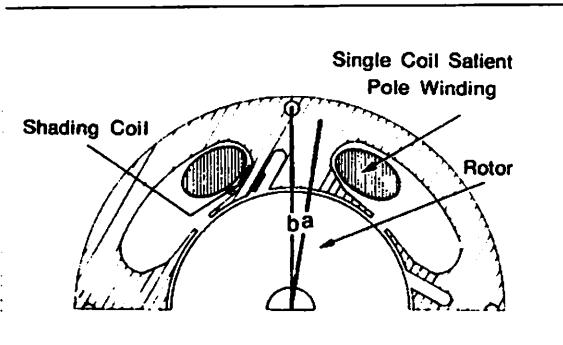
CHARACTERISTIC	NOTES
Peak Efficiency	55 to 65%
Power Factor	80 to 100%
Starting Torque	Up to 300% Full Load Torque
Noise & Vibration	120 Hz Torque Pulsations Reduced
Components	Contains Centrifugal Switch & Capacitor (Intermittent Duty). Contains 2nd Capacitor (Continuous Duty).
Other	Capacitor controls inrush starting current & run capacitor simulates 2-phase operation.
Cost	The best of the single-phase motor types. Exceptionally quiet. Most expensive motor design type.

Shaded Pole Motors

shaded pole motor differs widely from the other single-phase motors which have been discussed. All of the other gns contain a main and start winding, differing only in the starting method and corresponding starting circuitry.

The shaded pole motor is the most simply constructed therefore the least expensive of the single-phase gns. It consists of a run winding only plus shading coils which take the place of the conventional start winding. Figure 23 illustrates the construction of a typical shaded pole motor. The stator is of salient pole construction, having one large coil per pole wound directly in a single large slot. The shading coils are short circuited copper straps which are wrapped around one pole tip of each pole.

Figure 23. Shaded Pole Motor Construction



A shaded pole motor produces a very crude approximation of a rotating stator field through magnetic coupling which occurs between the shading coils and the stator winding. The placement and resistance of the shading coil is chosen so that, as the stator magnetic field increases from zero at the beginning of the AC cycle to some positive value, current is induced in the shading coil. As previously noted, this current will create its own magnetic field which opposes the original field. The net effect is that the shaded portion of the pole is weakened and the magnetic center of the pole is located at point "a". As the flux magnitude becomes nearly constant across the entire pole tip at the end of the positive half cycle, the effect of the shading pole is negligible and the magnetic center of the pole shifts to point "b". As slight as this shift is, it is sufficient to generate torque and start the motor.

The single coil winding is the crudest possible approximation of a rotating magnetic field. Therefore, the shaded pole motor efficiency suffers greatly due to the presence of winding harmonic content, particularly the third harmonic which produces a dip in the speed torque curve at approximately 1/3 synchronous speed (refer to Figure 24). In addition there are losses in the shading coils. These factors combine to make the shaded pole the least efficient and noisiest of the single-phase designs. It is used mostly in air moving applications where its low starting torque and the third harmonic dip can be tolerated. Extra main windings can be added to provide additional speeds in a manner similar to that used on permanently split capacitor motors. Table 5 summarizes the characteristics of a shaded pole motor.

Figure 24. General Performance Characteristic (Shaded Pole Motor)

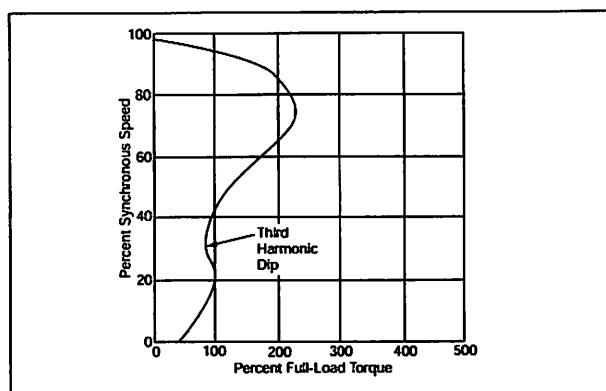


Table 5. Summary Shaded Pole Motor Characteristics

CHARACTERISTIC	NOTES
Peak Efficiency	20 to 40%
Power Factor	50 to 60%
Starting Torque	40 to 50% full load torque plus third harmonic dip
Noise & Vibration	120 Hz torque pulsations plus winding harmonics
Components	No additional components needed
Other	Can be used with speed control devices (not possible with SP & CSIR types)
Cost	Cheapest of all single-phase motors

Summary

base AC motors are not all equal. There are five types, all with different operating characteristics and uses. As it has been shown, the differences between motor type are great enough that it is important to understand each motor type, where it makes sense to use them and how to apply them.

does knowing the previous technical information about the five types of motors have to do with fans? The answer is simply this: almost every commercial fan is powered by an electric motor and other than the fan wheel it is the most important component of a fan. The motor is the likely component to fail in a fan and a large percentage of fan motor failures can be attributed to poor design and application of the motor.

Speed control capability is also becoming more commonplace today (especially on direct drive fans) and applying today's speed controllers to any single-phase AC motor can prove disastrous. It is important to understand that there are only two types of single-phase AC squirrel cage motor types that are suited for speed control applications.

Understanding the starting characteristics of each motor type is another area of importance for the motor application to a particular fan. All five motor types have distinct starting characteristics that need to be properly matched with the fan starting characteristics.

The table below can be used as a quick reference to the five motor types along with typical (acceptable) fan applications for each motor type.

Summary of Five Single-Phase Motor Types

MOTOR TYPE	SPLIT-PHASE	CAPACITOR-START	PERMANENTLY SPLIT CAPACITOR	CAPACITOR START-CAPACITOR RUN	SHADE POLE
DESCRIPTION	Start winding connected in parallel with main winding, connection controlled by centrifugal switch or relay.	Identical to the split-phase design except it includes the addition of a capacitor in series with the start winding circuit.	Start winding permanently connected in parallel to main winding with a continuous duty capacitor in the circuit at all times.	Combination of capacitor-start and PSC type motor. Start winding permanently connected in parallel to main winding with a continuous duty capacitor in the circuit at all times and capacitor in series with the start winding circuit.	Single main winding with shading coils for providing starting torque.
HP RANGE	1/6 to 1	1/4 to 2	1/100 to 1	3/4 to 20	1/1000 to 1/4
CURRENT RATED (60 HZ)	860, 1140, 1725, 3450	860, 1140, 1725, 3450	1050, 1625, 3250	1725, 3450	1050, 1550, 3100
VOLTAGE RANGE	50 to 60%	50 to 60%	55 to 65%	55 to 65%	20 to 40%
POWER FACTOR	60 to 70%	60 to 70%	80 to 100%	80 to 100%	50 to 60%
STARTING TORQUE (AT FULL LOAD)	100%	Up to 300%	50 to 80%	Up to 300%	40 to 50%
TYPICAL APPLICATION	Suitable for frequent starting of fans in both direct and belt driven units.	All-purpose motor for high starting torque, low starting current used in both direct and belt driven units.	Intended for direct drive models and applications requiring speed control.	All-purpose motor for high starting torque, low starting current used mainly in larger belt driven units.	Suitable for direct drive low power fans and multi-speed applications.
ADVANTAGES	a. Good starting torque. b. Medium efficiency.	a. High starting torque. b. Lower starting current than split phase design.	a. High running efficiency. b. Capable of multi-speed operation. c. Can be used with speed control devices (i.e., triacs). d. Quietest of all small induction motors.	a. High starting torque. b. Lower starting current than split-phase design. c. Available in larger HP sizes than capacitor-start or PSC motor types. d. High running efficiency.	a. Inexpensive to manufacture. b. Multi-speed operation. c. Compact.
DISADVANTAGES	a. Not suited for high starting torque loads. b. Not applicable for speed control. c. High starting current.	a. More expensive than split-phase design. b. Not applicable for speed control.	a. Low starting torque. b. Speed varies more under load.	a. Most expensive single-phase motor type. b. Not applicable for speed control.	a. Low efficiency. b. Low starting torque.

Petuah Bijak Ala Mas Gun'z

“*Iyyaaka Na'budu Wa Iyyaaka Nasta'ün*”

“*Hanya Kepada-Mu lah aku Menyembah dan Hanya Kepada-Mu lah
Aku Memohon Pertolongan*”

“Seseorang yang memulai sesuatu telah melakukan setengah dari upaya itu sendiri”

“Satu – satunya cara untuk melalui sesuatu adalah dengan menjalaninya”

“Jika kita berpuas diri menjadi nomor dua, maka itulah yang akan terjadi pada kehidupan kita”

“Dunia akan menepi dan mengizinkan masuk siapapun yang sudah tahu kemana ia menuju”

“Kita mungkin akan kecewa jika gagal tapi kita telah gagal bila kita tidak mencoba”

“Masa depan bukanlah sebuah hadiah, ia adalah sebuah keberhasilan”

“Sukses adalah sebuah perjalanan dan bukan tujuan akhir”

“Ada dua hal yang menjadi tujuan hidup di dunia pertama mendapatkan apa yang kita inginkan dan setelah itu menikmatinya”

You can

If you think

You can